

# INFLUENCE D'UN RÉCUPÉRATEUR DE CHALEUR DES EAUX GRISES SUR LE VOLUME DE STOCKAGE REQUIS POUR L'EAU CHAUDE DOMESTIQUE

Daniel Picard, Michel Bernier

Département de génie mécanique, École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada

## RESUME

Ce travail consiste à étudier, au moyen de simulations sous TRNSYS, l'influence de la présence d'un Récupérateur de Chaleur des Eaux Grises (RCEG) sur le volume de stockage requis pour l'eau chaude domestique.

Le comportement thermique du RCEG est simulé à l'aide d'un modèle développé pour ce projet. Il utilise deux constantes de temps : la première lorsque le RCEG est en opération et l'autre lorsqu'il est en attente.

Un système de production d'eau chaude sans stockage est d'abord simulé dans le but d'établir un cas de référence. Ensuite, des réservoirs d'eau chaude de volumes standard variant de 100 à 280 litres sont simulés avec et sans RCEG. Deux profils de consommation d'eau chaude sont utilisés dans l'analyse. Ces profils sont générés avec un pas de temps d'une minute dans le but de capturer l'essence des phénomènes physiques en jeu.

Les simulations ont permis de déterminer qu'en augmentant la température d'entrée au réservoir d'eau chaude, le RCEG permet de réduire le volume de stockage. À Montréal, pour une consommation moyenne (240 l/j), l'installation d'un RCEG permet de réduire la taille du réservoir de 184 à 136 litres, et pour une forte consommation (360 l/j), le volume de stockage passe de 280 à 184 litres.

## INTRODUCTION

Il est généralement admis qu'environ le quart de l'énergie consommée dans une maison typique est utilisée pour la production d'eau chaude domestique. Une fois utilisée, l'eau chaude est rejetée au drain. Il est possible de récupérer une partie de cette énergie au moyen d'un échangeur de chaleur (désigné ici par l'appellation « Récupérateur de Chaleur des Eaux Grises » - RCEG) placé sur la conduite de drainage. Ce type d'échangeur a été originalement développé par Waterfilm Energy Inc. (2005) pour le compte du US Department of Energy (DOE). Un RCEG est généralement composé d'un

tuyau principal (de 7 à 10 cm de diamètre), entouré d'une série de plus petits tuyaux (diamètre d'environ 13 mm), qui forment une spirale autour du tuyau principal. Les eaux grises circulent dans le drain alors que l'eau de l'aqueduc circule dans la spirale. Un RCEG fonctionne à son mieux lorsqu'il y a un écoulement simultané dans la spirale et le tuyau principal. Les douches respectent ce critère et c'est pourquoi les RCEG sont généralement raccordés aux douches.

La figure 1 montre une installation typique munie d'un RCEG. Elle consiste en un système standard de production d'eau chaude domestique électrique avec, en option, un RCEG branché pour récupérer l'eau de drainage des douches. L'eau de l'aqueduc arrive au point A. Si le RCEG est présent, l'eau froide passe par le serpentin (A-B) pour être préchauffée par les eaux grises de la douche (F-G), sinon, l'eau passe directement à B. Picard et al. (2006) ont démontré qu'un RCEG récupère le maximum d'énergie lorsqu'il est installé de cette façon afin de préchauffer toute l'eau des douches. Ensuite, l'écoulement d'eau est séparé en deux, d'un côté l'eau va directement au robinet d'eau froide de la douche, et de l'autre côté, elle est préchauffée par le réservoir d'eau chaude. Finalement, l'eau produite au chauffe-eau se dirige vers le robinet d'eau chaude de la douche ou vers d'autres utilisations.

Lorsque l'eau est préchauffée par un RCEG elle entre à une température plus élevée dans le réservoir. En conséquence, pour une puissance de chauffe donnée, le temps requis pour chauffer l'eau jusqu'au point de consigne est réduit. En d'autres termes, le temps requis pour que la température de sortie de l'eau soit inacceptable lors d'une forte demande est plus long. Donc, en principe, un volume de stockage réduit peut être utilisé lorsqu'un RCEG est installé. La diminution du volume de stockage permet de réduire les coûts d'achats. De plus, la surface extérieure du réservoir étant réduite, les pertes thermiques au travers les parois sont plus faibles.

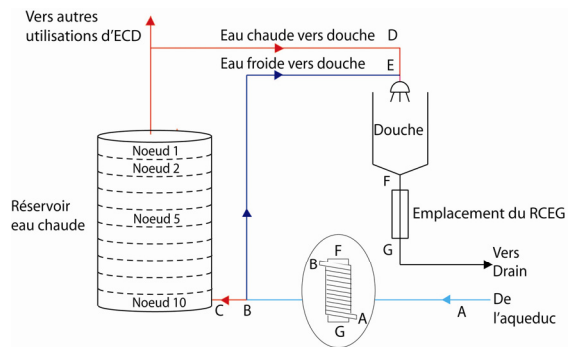


Figure 1 Schéma du système de production d'eau chaude avec un RCEG

L'objectif principal de ce travail consiste donc à étudier l'influence de la présence d'un RCEG sur le volume de stockage requis pour l'eau chaude domestique. Les différents systèmes étudiés sont simulés au moyen du logiciel TRNSYS.

Suite à une courte revue de la littérature, la méthodologie ainsi que les différents modèles utilisés sont présentés. Ensuite, une étude de sensibilité sur les constantes de temps est présentée dans le but de quantifier leurs effets sur la précision des résultats. Par la suite, l'influence de la présence d'un RCEG sur le réservoir d'eau chaude est étudiée. Un système de production d'eau chaude sans stockage est d'abord simulé dans le but d'établir un cas de référence. Ensuite, différentes configurations combinant des réservoirs d'eau chaude de volumes différents avec ou sans RCEG sont simulés pour deux profils d'eau chaude.

## REVUE DE LA LITTÉRATURE

Des GFX (nom commercial souvent utilisé pour désigner un RCEG) testés à l'université Old Dominion à Norfolk en Virginie (Bernadowski, 1996) ont réduit la consommation d'énergie dédiée à la production d'eau chaude des douches de 47 % à 64 %. L'efficacité du GFX, ou le rapport entre l'énergie récupérée et la quantité maximale d'énergie pouvant être récupérée, a aussi été évaluée dans cette étude. Elle se situe entre 55 % et 60 %, confirmant ainsi les valeurs du manufacturier.

Un GFX (modèle 3-60) a été installé et évalué dans une maison R-2000 expérimentale (Office de l'efficacité Énergétique, 2002). Dans ce cas, le GFX a réduit les demandes énergétiques pour la production d'eau chaude des douches de 40 % à 50 %.

Hewitt et Henderson (2001) ont déterminé expérimentalement que la température de sortie

d'un GFX se stabilise après un temps de 1 à 1.5 minutes. Les auteurs constatent également que le GFX pourrait fonctionner plus efficacement s'il était isolé.

Un rapport publié par le Centre Canadien des Technologies Résidentielles (CCTR) évalue la performance de cinq modèles (différents fabricants et dimensions variées) de RCEG (Zaloum et al., 2007). Selon cette étude, l'efficacité des cinq modèles varie de 46 à 70 %. Trois types de RCEG ont par la suite été testés pour un profil d'eau chaude typique. Ces essais montrent que les économies en gaz naturel associées au chauffage de toute l'eau chaude domestique varient de 9 à 27 %. Finalement, la durée maximale des douches pour un débit donné (8 l/min) a été évaluée pour chacun des modèles. Pour le cas de base, sans RCEG, la durée maximale des douches n'est que de 28 minutes. Lorsqu'un RCEG est installé, la durée des douches varie de 39 à plus de 75 minutes, selon le type utilisé et le mode de raccordement du RCEG. Enfin, cette étude mentionne que le potentiel de récupération des eaux grises non-simultanés avec la demande en eau chaude (par exemple les eaux grises du lave-vaisselle) est négligeable.

Picard et al. (2006) ont montré que le type de raccordement du RCEG est important. Ainsi, lorsque le RCEG est utilisé pour préchauffer l'eau froide des douches, il peut récupérer 31 % de la chaleur contenue dans les eaux grises. Lorsque l'eau chaude et l'eau froide des douches sont préchauffées la récupération atteint 41 %. Annuellement, ceci représente, respectivement, des économies allant de 667 à 851 kWh pour une demande en eau chaude typique de 240 l/j ; une quantité d'énergie non-négligeable considérant que l'énergie requise annuellement pour le chauffage de cette quantité d'eau est de 5040 kWh à Montréal.

Il ressort de cette revue que l'influence de la présence d'un RCEG sur la dimension du réservoir d'eau chaude n'a apparemment pas encore été étudiée.

## METHODOLOGIE

Le logiciel TRNSYS (version 16) est utilisé pour réaliser les simulations de cette étude. Quelques nouveaux modèles (TYPE dans le jargon de TRNSYS) ont été développés ; ils sont détaillés dans les paragraphes qui suivent de même que certains TYPE standards de TRNSYS.

**Profil de consommation d'eau chaude.** Le profil de consommation d'eau chaude est un élément très important de la simulation. Des profils horaires

classiques que l'on retrouve dans la littérature sont inadéquats car ils ne permettent pas de capter les phénomènes physiques se produisant avec une faible échelle de temps. Dans la présente étude, le programme DHW-Calc est utilisé. (Jordan & Vajen, 2003a, 2003b). Son fonctionnement détaillé est décrit par Picard (2007). Il permet de générer des profils de consommation d'eau chaude pour des pas de temps de 1 à 60 minutes pour différents débits journaliers. Dans la présente étude, un pas de temps d'une (1) minute est utilisé pour deux consommations journalières (240 et 360 l/jour). DHW-Calc est un programme statistique de génération de profils de consommation d'eau chaude. Il calcule, pour chaque pas de temps, les débits pour quatre catégories de demandes, soit celles dites de courte et moyenne durée, les demandes reliées à l'utilisation de la baignoire et finalement la demande des douches. Ces calculs sont effectués en deux étapes. En premier lieu, le nombre probable d'événements (durant une année) à un débit donné est évalué pour chacune des catégories. DHW-Calc suppose que la distribution de chaque catégorie de demande repose sur une courbe de distribution normale. Ensuite, le moment où se produisent ces débits est évalué. Les variations journalières, hebdomadaires, annuelles et les vacances sont prises en compte grâce à une fonction de probabilité utilisée dans la méthode des fréquences cumulées. Chacune des catégories est générée indépendamment. Leurs débits respectifs sont superposés pour obtenir le débit total d'eau chaude à chaque pas de temps. La figure 5 (partie supérieure) montre le profil de consommation d'eau chaude pour la deuxième journée de l'année. Tel que montré sur cette figure, le logiciel DHW-calc produit un profil de consommation réaliste avec des valeurs nulles (la nuit) et des valeurs de pointe (par exemple près de la 37<sup>e</sup> heure) pour lesquelles il y a un cumul de consommation de plusieurs catégories.

**Température de l'eau de l'aqueduc.** La température de l'eau de l'aqueduc a une grande influence sur la consommation d'énergie liée à la production d'eau chaude. Dans la présente étude, la température de l'eau de l'aqueduc de Montréal est utilisée. Ces données ont été compilées en 2003 par Marcoux et Dumas (2004). A titre indicatif, la température annuelle moyenne de l'eau de l'aqueduc à Montréal est de 11.4 °C.

**Réservoir d'eau chaude.** Le modèle de réservoir d'eau chaude utilisé dans les simulations est du type stratifié (TYPE 4 dans TRNSYS) avec 10 nœuds équidistants. Oberndorfer et al. (1999) ont modélisé plusieurs systèmes utilisant des réservoirs de 1 à

100 nœuds et ont conclu que les prévisions annuelles d'énergie sont généralement acceptables lorsqu'un réservoir est modélisé avec 10 nœuds. Le TYPE 4 considère que le fluide est entièrement mélangé à l'intérieur de chaque nœud mais néglige la conduction entre les nœuds. Toutefois, les pertes de chaleur à travers les parois sont évaluées.

Les caractéristiques des réservoirs électriques utilisés sont données dans le tableau 1. Ces caractéristiques ont été tirées de données de manufacturiers. Dans ce tableau, V est le volume du réservoir, H et D sont respectivement la hauteur et le diamètre du réservoir, et U est le facteur de déperdition thermique du réservoir. Tous les réservoirs (sauf celui de 100 litres) sont munis de deux éléments chauffants fonctionnant en mode maître-esclave avec priorité à l'élément du haut. La puissance de ces éléments (q) est donnée au tableau 1 de même que leur position dans le réservoir. Les thermostats sont localisés dans le même nœud que l'élément qu'ils activent. La température de consigne est de 60 °C avec une bande morte de ±0.1 °C. Enfin, la température ambiante autour du réservoir d'eau chaude est de 20 °C.

Tableau 1 Caractéristiques des réservoirs utilisés

V (l)	H (m)	D (m)	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	q (kW)	Position des éléments*	
					1	2
100	1.05	0.35	0.994	3.0	5	-
136	0.92	0.43	0.889	3.0	2	9
184	1.24	0.43	0.803	3.0	2	9
280	1.52	0.48	0.781	4.5	2	9
455	1.72	0.58	0.728	6.0	2	9

\*Numéro du nœud (1 = sommet du réservoir)

**Récupérateur de chaleur des eaux grises.** La figure 2 présente la nomenclature utilisée pour décrire le modèle du RCEG. Les caractéristiques physiques correspondent à un RCEG du commerce (modèle GFX3-60 de WaterFilm Energy Inc, 2005).

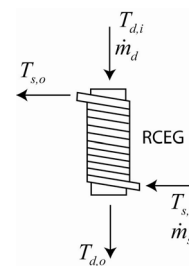


Figure 2 Représentation schématique du RCEG

Le modèle permet de prédire la température à la sortie du serpentin ( $T_{s,o}$ ) en utilisant le concept d'efficacité,  $\varepsilon$ , qui est défini par :

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_s c_p (T_{s,o} - T_{s,i})}{\dot{m}_{\min} c_p (T_{d,i} - T_{s,i})} \quad (1)$$

où  $\dot{m}_d$  et  $T_{d,i}$  sont la température et les débits à l'entrée du drain (i.e. sortie de la douche),  $\dot{m}_s$  et  $T_{s,i}$  sont la température et les débits à l'entrée du serpentin ;  $\dot{m}_{\min}$  est le plus petit des deux débits, généralement  $\dot{m}_s$ .

Dans cette étude, il est supposé que la température à la sortie de la douche est égale à 40 °C (lorsqu'il y a suffisamment d'eau chaude). De plus, la température minimale de confort pour une douche est fixée à 37 °C (Zaloum et al., 2007).

La valeur de l'efficacité est issue de résultats empiriques en régime permanent ( $\varepsilon_{rp}$ ) corrigées par un facteur d'amortissement ( $f$ ) selon l'équation suivante :

$$\varepsilon = f \varepsilon_{rp} \quad (2)$$

Les valeurs de  $\varepsilon_{rp}$  sont tirées des données du manufacturier (WaterFilm Energy Inc, 2005). Ces données sont représentées par des symboles à la figure 3. Tel que montré sur la figure, l'efficacité dépend du débit dans le drain et dans le serpentin. Les données du manufacturier ont été lissées avec un polynôme du 6<sup>e</sup> degré qui donne la valeur de l'efficacité en fonction du débit dans le drain et du rapport serpentin/drain. Les courbes dessinées sur la figure 3 représentent les résultats obtenus en utilisant cette régression (La courbe pour un ratio de débits serpentin/drain de 0.3 est extrapolée par absence de données du manufacturier à ce ratio). On observe que l'accord entre les résultats issus de cette régression et les données du manufacturier est excellent.

Le facteur d'amortissement  $f$  est donnée par :

$$f = 1 - e^{-(t/\tau_{op})} \text{ lorsque le RCEG est en opération}$$

$$f = e^{-(t/\tau_{sb})} \text{ lorsque le RCEG est en attente}$$

La constante de temps en opération,  $\tau_{op}$ , d'une durée de 30 secondes, s'applique lorsque le RCEG est en opération. Cette valeur est déduite d'une étude expérimentale (Hewitt & Henderson, 2001). La constante de temps en attente,  $\tau_{sb}$ , n'a pu être déterminée. Elle est estimée à 300 secondes. Tel que montré ci-dessous, la grande incertitude

associée à cette valeur n'affecte pas les résultats globaux de façon significative.

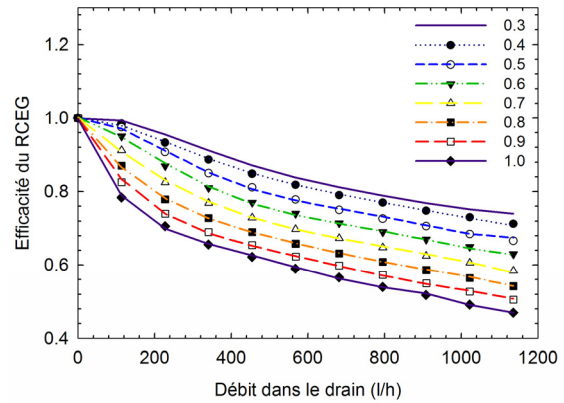


Figure 3 Efficacité du GFX (modèle G3-60) en fonction du débit volumique dans le drain pour différents ratios de débits volumiques serpentin/drain (0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0)

La figure 4 illustre le comportement du RCEG en mode transitoire en utilisant le concept évoqué à l'équation (2). La figure montre une séquence de deux cycles d'opération de 0.1 heure (360 secondes) entrecoupées d'un mode d'attente de 0.1 heure. Les températures à l'entrée du drain ( $T_{d,i}$ ) et à l'entrée du serpentin ( $T_{s,i}$ ) sont respectivement de 40 °C et de 10 °C. Tel que montré sur cette figure, il s'écoule quelques minutes avant que la température à la sortie du serpentin n'atteigne l'état permanent (27.8 °C). Lorsque le RCEG est en attente (dans cet exemple de 0.1 à 0.2 heure) les températures à la sortie du drain et du serpentin sont égales à leur température d'entrée respectives et l'efficacité devient nulle.

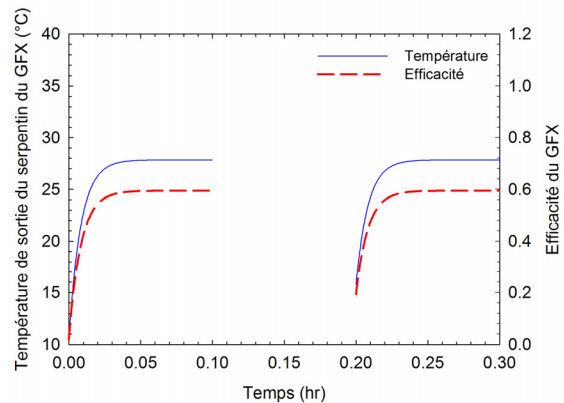


Figure 4 Comportement transitoire du RCEG

La température et l'efficacité pendant la période d'attente ne sont donc pas montrées sur la figure. Par contre, le facteur d'amortissement utilisé dans l'équation d'efficacité est calculé et conservé en mémoire de sorte qu'au début du deuxième cycle (à  $t=0.2$  heure) le RCEG n'est pas complètement refroidi. En effet, la température à la sortie de la spirale est de  $15.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (donc au-dessus de la température d'entrée de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) et l'efficacité est de 0.19.

### ÉTUDE DE SENSIBILITÉ SUR LES CONSTANTES DE TEMPS

La détermination des constantes de temps est approximative et l'incertitude sur ces valeurs est importante. Cependant, la précision des constantes de temps, bien que souhaitable, n'est peut-être pas absolument nécessaire si la quantité d'énergie récupérée est peu sensible à la détermination exacte des constantes de temps. Dans cette section, les deux constantes de temps sont variées pour analyser leur effet sur la capacité du RCEG à récupérer l'énergie.

**Constante de temps « en opération ».** Le tableau 2 montre les valeurs de l'énergie récupérée annuellement par un RCEG ( $Q_{\text{RCEG}}$ ) pour le système présenté à la figure 1 avec un volume de stockage de 280 l et un profil de consommation de 240 l/j. La constante de temps en opération varie de 8 s à 1000 s alors que la constante de temps en attente est fixée à 300 s. Ce tableau montre que l'énergie récupérée par le RCEG est peu sensible ( $\pm 5\%$ ) à une variation de  $\pm 50\%$  ( $\pm 15$  s) de la constante de temps utilisée dans la présente étude. Pour une constante de temps de 8 secondes l'énergie récupérée par le RCEG est de 7.2 % supérieure à celle obtenue avec une constante de temps de 30 s. À l'autre extrême, pour une constante de temps de 1000 s, le RCEG récupère près de 83 % moins d'énergie que le cas de base. Ceci est normal puisque avec une telle constante de temps, le RCEG ne réussit pas à atteindre la valeur d'efficacité du régime permanent pour une douche de durée moyenne de 5 minutes.

**Constante de temps « en attente ».** Au tableau 3, la constante de temps en attente est variée de 15 s à 10000 s tout en gardant la valeur de la constante de temps en opération fixe à 30 s. L'examen du tableau 3 indique que la capacité de récupération du RCEG est beaucoup moins sensible à la constante de temps en attente que la constante de temps en opération. Pour l'intervalle de 15 s à 450 s, la capacité de récupération de l'appareil varie de moins de 1 % par rapport à la valeur de

récupération avec une constante de temps en attente de 300 s.

*Tableau 2 Énergie récupérée par le RCEG en fonction de la constante de temps en opération pour une demande journalière de 240 l/j (pour une constante de temps en attente fixe de 300s)*

$\tau_{\text{op}}$ (s)	$Q_{\text{RCEG}}$ (kWh)	Valeurs relatives
8	912.4	1.07
15	893.7	1.05
30	851.1	1.00
45	808.1	0.95
1000	147.1	0.17

Pour une constante de temps extrême de 10000 s, la capacité de récupération est supérieure de 3.2 % à la valeur obtenue pour 300 s.

*Tableau 3 Énergie récupérée par un RCEG en fonction de la constante de temps en attente pour une demande journalière de 240 l/j (pour une constante de temps en opération fixe de 30s)*

$\tau_{\text{sb}}$ (s)	$Q_{\text{RCEG}}$ (kWh)	Valeurs relatives
15	846.4	0.995
30	846.6	0.995
45	846.8	0.995
150	848.9	0.997
300	851.1	1.000
450	852.9	1.002
10000	878.4	1.032

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le système de production d'eau chaude présenté à la figure 1 est d'abord simulé avec un débit continu, pour des volumes de réservoirs variant de 100 à 280 l, avec et sans RCEG. Ces simulations donnent une indication de la performance du système en examinant le débit maximal d'eau chaude domestique que le système peut fournir à  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour une température d'entrée d'eau de  $11.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (température qui correspond à la moyenne annuelle de la température de l'eau à Montréal). Le tableau 4 montre les résultats obtenus. Dans le cas des trois premiers réservoirs, les éléments chauffants ont une puissance de 3 kW. Il est donc normal de voir ces trois réservoirs fournir un débit similaire. Bien que le réservoir de 100 litres possède un élément de même puissance que les réservoirs de 136 et 184 litres, il fournit un débit un peu plus faible. Dans ce cas, l'élément chauffant est plus éloigné de la sortie. Donc, la température moyenne du

réservoir, et par conséquent les pertes au travers les parois sont plus élevées. Conséquemment, le débit maximum est un plus faible. Pour le réservoir de 280 litres, l'élément est plus puissant (4.5 kW) ce qui permet d'avoir un débit plus élevé.

La présence d'un RCEG a une influence significative. En effet, tel que montré au tableau 4, il augmente le débit maximum d'un facteur variant entre 2.3 et 2.5. Cette augmentation est liée au fait que le RCEG permet à l'eau d'entrer à une température plus élevée dans le réservoir d'ECD et ainsi d'alléger la charge sur l'élément chauffant.

Tableau 4 Débit maximum possible dans le système de production d'ECD en fonction du volume pour un système avec et sans RCEG

Volume (l)	Sans RCEG (l/h)	Avec RCEG (l/h)
100	88	220
136	90	222
184	90	222
280	135	310

Une deuxième série de résultats sera maintenant présentée avec les profils de consommation décrits ci-dessus. Dans le but d'établir un cas de référence, un système de production d'eau chaude sans stockage et sans RCEG est d'abord simulé. Ensuite, tel que présenté au tableau 5, des réservoirs d'eau chaude standards de volumes variant de 100 à 280 litres sont simulés avec et sans RCEG pour des profils de consommation de 240 et 360 l/j.

Tableau 5 Paramètres variés lors des simulations

Paramètres	Valeurs
RCEG	oui, non
Volume des réservoirs (l)	100, 136, 184, 280
Demande journalière (l/j)	240, 360

Avant de montrer les résultats de performance, il est utile d'observer l'évolution de la température dans un réservoir. La figure 5 montre la température au sommet (T1) et au fond (T10) d'un réservoir de 184 litres avec et sans RCEG pour la deuxième journée de l'année. La portion supérieure de la figure montre le débit correspondant issu du logiciel DHW-calc. Durant cette période, deux séries de demande de type douche (vers 31.5 h et 35.5 h) et plusieurs demandes d'autres catégories sont présentes. La première série contient une demande d'une douche et la deuxième en contient trois de suite. En regardant la température au bas du réservoir (T10) de la figure de droite, il est possible

de remarquer l'impact du RCEG. Ainsi, lorsqu'il y a des douches, la température au bas du réservoir (T10) augmente car l'eau n'est pas à la température de l'aqueduc car elle a été préchauffée par le RCEG. Pour la deuxième série de demande (vers 35.5 h), le système sans RCEG est déchargé et ne permet plus de prendre une douche confortable puisque la température à la sortie du réservoir (T1) descend sous 37°C. Cependant, pour le système muni d'un RCEG, la température de l'eau à la sortie diminue jusqu'à environ 50°C, ce qui demeure, toutefois, une température acceptable pour une douche.

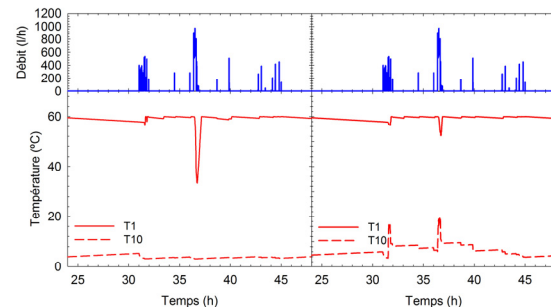


Figure 5 (en bas) Températures dans le réservoir pour un volume de 184 l et (en haut) débit pour une configuration (à gauche) sans RCEG, (à droite) avec RCEG

Le tableau 6 présente l'énergie requise pour le chauffage de l'eau chaude domestique ( $Q_{ECD}$ ), la consommation énergétique des éléments chauffants ( $Q_{aux}$ ), l'énergie récupérée par le RCEG ( $Q_{RCEG}$ ) ainsi que les pertes de chaleur des réservoirs ( $Q_{Pertes}$ ). Les deux premières rangées des deux profils d'eau chaude sont les résultats des cas de référence sans stockage.

La première chose à noter est que  $Q_{ECD}$  augmente avec une augmentation du volume de stockage. Par exemple, pour le cas sans RCEG, l'énergie requise pour l'eau chaude domestique passe de 3907 kWh pour un stockage de 100 litres à 5074 kWh pour un stockage de 280 litres. Cette différence est attribuable à deux facteurs. Premièrement, les pertes thermiques des petits réservoirs sont plus faibles. Deuxièmement, pour un faible volume de stockage, le système ne permet pas de fournir des douches à une température de 40 °C en tout temps ce qui, évidemment, requiert moins d'énergie.

Le volume de stockage a une certaine influence sur la capacité de récupération de chaleur du RCEG. Ainsi, pour un faible volume de stockage, le système ne permet pas de fournir des douches à une température de 40°C en tout temps, ce qui a des

effets négatifs sur la capacité de récupération du RCEG puisque la température dans le drain est plus basse ce qui diminue le potentiel de récupération de la chaleur des eaux grises.

Pour un volume de réservoir constant, l'ajout d'un RCEG diminue la consommation électrique des éléments chauffants, mais augmente les pertes thermiques. Ainsi, pour une consommation journalière de 240 l/j et un volume de 184 l,  $Q_{\text{aux}} = 5343$  kWh et  $Q_{\text{pertes}} = 403$  kWh pour un système sans RCEG. Avec un RCEG, les valeurs correspondantes sont, respectivement, de 4574 kWh et 417 kWh, soit une diminution de 14 % en consommation électrique et une augmentation de 3 % des pertes dans les réservoirs. Dans ce dernier cas, l'augmentation s'explique par le fait que la température de l'eau à l'entrée du réservoir, donc la

température moyenne du réservoir est plus élevée lorsqu'il y a un RCEG. Conséquemment, les éléments électriques sont moins sollicités, mais les pertes thermiques au travers les parois du réservoir sont plus élevées.

Une augmentation de la consommation en eau chaude augmente proportionnellement les valeurs de  $Q_{\text{ECD}}$ ,  $Q_{\text{aux}}$  et  $Q_{\text{RCEG}}$ , mais diminue les pertes au travers les parois des réservoirs ( $Q_{\text{pertes}}$ ). Par exemple, pour un réservoir de 184 l les pertes passent de 403 kWh à 384 kWh lorsque la consommation journalière passe de 240 à 360 l/j. Ceci s'explique par le fait qu'une augmentation de la consommation en eau chaude a pour effet de diminuer la température moyenne dans le réservoir et, conséquemment, de diminuer les pertes.

Tableau 6 Échanges d'énergie (valeurs annuelles) dans les diverses composantes du système de production d'eau chaude pour Montréal

Volume (l)	sans RCEG			avec RCEG				
	$Q_{\text{ECD}}$ (kWh)	$Q_{\text{aux}}$ (kWh)	$Q_{\text{pertes}}$ (kWh)	$Q_{\text{ECD}}$ (kWh)	$Q_{\text{aux}}$ (kWh)	$Q_{\text{RCEG}}$ (kWh)	$Q_{\text{aux}} + Q_{\text{RCEG}}$ (kWh)	$Q_{\text{pertes}}$ (kWh)
<b>240 l/j</b>								
Sans stockage @ 60 °C	5092	5092	0					
100	3907	4051	147	4195	3630	728	4358	166
136	4786	5120	335	4888	4409	826	5235	348
184	4941	5343	403	5000	4574	842	5416	417
280	5074	5617	545	5084	4790	851	5641	559
<b>360 l/j</b>								
Sans stockage @ 60 °C	7666	7666	0					
100	5286	5423	139	5764	4915	1005	5920	159
136	6794	7113	320	7075	6210	1201	7411	337
184	7173	7556	384	7362	6515	1250	7765	404
280	7576	8106	532	7626	6889	1287	8175	551

Le tableau 7 présente la proportion de douches froides (température inférieure à 37 °C) ainsi que la température moyenne de ces dernières ( $T_{\text{Douche Froide}}$ ). La proportion de douches froides est le pourcentage de temps pendant lequel les douches sont froides. Par exemple, pour 2 douches de 5 minutes, si l'une d'elles est au dessus de 37 °C pendant toute sa durée et que l'autre tombe sous les 37 °C pendant 2 minutes, la proportion de douches froides est alors de 20 %. Un total de 875 douches de 5 minutes sont prises à une consommation journalière de 240 l/j et 1317 le sont à une consommation journalière de 360 l/j. Pour une consommation de 240 l/j avec un système sans

RCEG et un volume de stockage de 184 l, 3.8 % des douches, ou 166 minutes de douches sont considérées comme froides. Pour un système avec RCEG et un stockage de 136 l, la proportion atteint 5.0 %, ou 219 minutes. Dans le cas d'une consommation de 360 l/j, avec un volume de stockage de 280 l sans RCEG, environ 105 minutes de douches sont prises à une température inacceptable. Avec un volume de 184 litres et un RCEG, 349 minutes sont inconfortables dans l'année. L'arrangement avec une consommation de 240 l/j et un volume de stockage de 280 l et comprenant un RCEG est le seul cas où 100 % douches sont confortables.

En supposant qu'un seuil d'environ 5 % de douches inconfortables (219 minutes à 240 l/j et 329 minutes à 360 l/j) est tolérable, il est possible de juger de l'effet de l'ajout d'un RCEG sur le dimensionnement du réservoir de stockage. Dans ce cas, pour une consommation de 240 l/j, un réservoir de 136 litres avec RCEG donne une proportion de douches froides tolérables (5.0 %), et pour une consommation de 360 l/j, c'est un réservoir de 184 litres qui est requis (5.3 %).

Tableau 7 Température moyenne d'eau chaude domestique pour Montréal

Vol. (l)	sans RCEG			avec RCEG		
	Douches froides			Douches Froides		
	T <sub>ECD</sub> (°C)	%	T <sub>Douche</sub> Froide (°C)	T <sub>ECD</sub> (°C)	%	T <sub>Douche</sub> Froide (°C)
<b>240 l/j</b>						
100	43.7	34.3	22.0	46.7	24.2	24.4
136	55.4	8.0	21.8	56.8	5.0	24.8
184	57.6	3.8	23.8	58.4	2.2	27.7
280	59.7	0.1	32.5	59.8	0.0	-
<b>360 l/j</b>						
100	39.8	42.5	20.1	42.7	33.6	22.5
136	51.8	17.2	19.6	53.9	10.6	23.1
184	55.0	9.8	21.5	56.6	5.3	24.9
280	58.9	1.6	26.7	59.5	0.4	28.9

Cette analyse permet de conclure que l'emploi d'un RCEG permet de réduire le volume de stockage de 184 à 136 litres pour une consommation de 240 l/j et de 280 à 184 litres pour une consommation de 360 l/j.

## CONCLUSIONS

Ce travail consiste à étudier, au moyen de simulations sous TRNSYS, l'influence de la présence d'un Récupérateur de Chaleur des Eaux Grises (RCEG) sur le volume de stockage requis pour l'eau chaude domestique.

Le modèle du RCEG est basé sur l'efficacité en régime permanent modifié par un facteur de correction pour opération en régime transitoire. Ce facteur de correction est basé sur des constantes de temps en opération et en mode d'attente.

La présence d'un RCEG permet de multiplier par un facteur allant de 2.3 à 2.5 le débit maximum continu permettant une douche confortable. Les simulations ont également permis de déterminer qu'en augmentant la température d'entrée au

réservoir d'eau chaude, le RCEG permet de réduire le volume de stockage. Ainsi, en supposant qu'une proportion de 5 % de douches froides est acceptable, la présence d'un RCEG permet de réduire la taille du réservoir de 184 à 136 litres pour une consommation journalière de 240 l/j et de 280 à 184 litres pour une consommation journalière de 360 l/j.

## RÉFÉRENCES

Bernadowski, T. A. (1996). Virginia Power Water Heater Testing and Optimisation. Consulté le 10 avril 2005, tiré de <http://gfxtechnology.com/OldDom>

Hewitt, N. J., & Henderson, P. (2001). Drainwater Heat Recovery System - An Energy Conservation Project. Consulté le 15 avril 2006, tiré de <http://www.gfxstar.ca/Gfx-uk.pdf>

Jordan, U., & Vajen, K. (2003a). *DHW Calc* Version 1.10. Kassel, Allemagne.

Jordan, U., & Vajen, K. (2003b). *DHWcalc Handbuch*. Kassel, Allemagne.

Marcoux, C., & Dumas, C. (2004). Température de l'eau dans l'aqueduc de Montréal. Consulté le 1 mars 2006, tiré de [http://www.ashrae-mtl.org/text/f\\_ashrae.html](http://www.ashrae-mtl.org/text/f_ashrae.html)

Oberndorfer, G., Beckman, W. A., & Klein, S. A. (1999). Sensitivity of Annual Solar Fraction of Solar Space and Water Heating Systems to Tank and Collector Heat Exchanger Model Parameters. *ASES Annual Conference* (Vol. 24).

Office de l'efficacité Énergétique. (2002). Canada R-2000/Energuide Energy-Credits. In Site de GFX Technology. Consulté le 20 novembre 2007, tiré de <http://gfxtechnology.com/R-2000.pdf>.

Picard, D. (2007). *Production d'eau chaude domestique dans les maisons à consommation énergétique nette zéro*. M.Sc.A. inédit, École Polytechnique de Montréal, Montréal.

Picard, D., Delisle, V., Bernier, M. A., & Kummert, M. (2006). On the combined effect of wastewater heat recovery and solar domestic hot water heating. *Canadian Solar Building Research Network Conference, Université Concordia, Montreal, QC*, paper M06-M1A-2, 10 pages.

SEL. (2005). *TRNSYS 16 - A Transient Simulation Program - Documentation set (9 Volumes)* Version 16.00.0038. Madison, WI: University of Wisconsin.

WaterFilm Energy Inc. (2005). GFX Heat eXchanger & Water Heater Booster. Consulté le 12 avril 2006, tiré de <http://gfxtechnology.com/>

Zaloum, C., Gusdorf, J., & Parekh, A. (2007). *Final Report: Performance Evaluation of Drain Water Heat Recovery Technology at the Canadian Centre for Housing Technology*. Ottawa: Sustainable Buildings and Communities, Natural Resources Canada.