

**ANNEXE A
COMPLÉMENT DE RÉPONSE À LA QUESTION 6.2**

**– ESSAIS TERRAIN 2007-2008 D'UN NOUVEAU
CONCEPT DE CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUE À
TROIS ÉLÉMENTS**

– L'INFOBEC DE FÉVRIER 2011

Rapport technique

« Essais terrain 2007-2008 d'un nouveau concept de chauffe-
eau électrique à 3 éléments »

LTE-RT-2008-0182 Diffusion grand public

André Laperrière

Novembre, 2008

« Essais terrain 2007-2008 d'un nouveau concept de chauffe-eau électrique à 3 éléments »

LTE-RT-2008-0182 Diffusion grand public Copie no _____

Auteurs : André Laperrière, Raynald Brassard

Collaborateurs : Pascale Dumas, Normand Bigras,
Leila Chami-Boudjerida

Chef de projet : André Laperrière, ing. M.Sc.A.

Effectué dans le cadre du projet : "Chauffe-eau trois éléments"
J-4338

Requérant : Omer Lemay, SCUE

Approuvé par :



My Dung Handfield
Chef – Technologie – Services à la clientèle
Laboratoire des Technologies de l'énergie, (LTE)

LISTE DES PERSONNES OU GROUPES AYANT ACCÈS AU DOCUMENT

RAPPORT COMPLET :	COPIE
	N°
My Dung Handfield – Technologie – Services à la clientèle, LTE	1
Michel Dostie – Expertise, Utilisation de l'énergie, LTE	2
André Laperrière – LTE	3
Normand Bigras – SCUE	4
Leila Chami-Boudjerida – HQ Distribution	5
Pascale Dumas – SCUE	6
Omer Lemay – S.C.U.E	7
Giant Company	8
Bibliothèque LTE	(Copie Originale)

Essais terrain 2007-2008 d'un nouveau concept de chauffe-eau électrique à 3 éléments pour réduire l'appel de puissance

Auteurs : André Laperrière
Raynald Brassard

Novembre 2008

Résumé pour fins de diffusion Hydro-Québec

En 2006, le LTE a préparé le rapport LTE-RT-2006-0114 indiquant un potentiel intéressant du concept du chauffe-eau à trois (3) éléments. Ce principe vise à modifier de manière simple la conception du chauffe-eau électrique afin d'y ajouter un élément intermédiaire (le troisième élément) et de réduire la puissance de l'élément inférieur à une puissance nominale de 800 Watts. En 2006 – 2007, un chauffe-eau édition spéciale a donc été mis en projet pilote alternant pour le même client d'une journée à l'autre du mode deux (2) éléments conventionnel au mode trois (3) éléments. Il s'agit en fait d'un chauffe-eau à cinq (5) éléments. Lors de ce projet, soixante et quinze (75) clients résidentiels représentatifs ont été mis sous essais. Les résultats obtenus se sont avérés intéressants et prometteurs.

Cette étude complète des travaux antérieurs d'un nouveau concept de chauffe-eau à trois éléments pour réduire l'appel de puissance du réseau électrique d'Hydro-Québec. Les résultats ont démontré que le nouveau concept de chauffe-eau permet de réduire l'appel de puissance à une valeur inférieure à 800 Watts comparativement au concept conventionnel et de ce fait, c'est une réduction de l'ordre de 20 % qui est obtenue par ce nouveau concept et ce à l'aide d'une méthode simple et peu onéreuse.

Sommaire

En 2006, le LTE a préparé le rapport LTE-RT-2006-0114 indiquant un potentiel intéressant du concept du chauffe-eau à trois (3) éléments. Ce principe vise à modifier de manière simple la conception du chauffe-eau électrique afin d'y ajouter un élément intermédiaire (le troisième élément) et de réduire la puissance de l'élément inférieur à une puissance nominale de 800 Watts. En 2006 – 2007, un chauffe-eau édition spéciale a donc été mis en projet pilote alternant pour le même client d'une journée à l'autre du mode deux (2) éléments conventionnel au mode trois (3) éléments. Il s'agit en fait d'un chauffe-eau à cinq (5) éléments. Lors de ce projet, soixante et quinze (75) clients résidentiels représentatifs ont été mis sous essais. Les résultats obtenus se sont avérés intéressants et prometteurs.

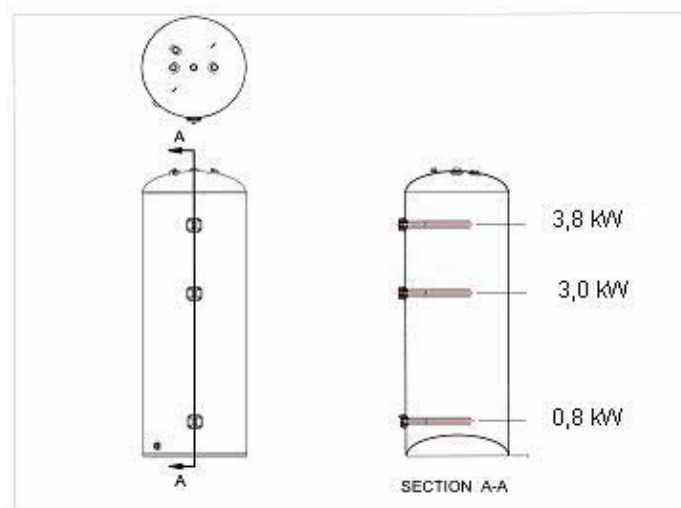


Figure S-1 : Schéma du concept du chauffe-eau à trois (3) éléments

Toutefois de manière à s'assurer hors de tout doute de la viabilité du concept, la saison 2007-2008 a été utilisée pour faire opérer le chauffe-eau en mode trois (3) éléments uniquement. De cette manière, on pouvait ainsi connaître ce qu'il surviendrait si ce concept était utilisé sur une base continue et permanente.

La Figure S-2 présente l'appel de puissance diversifié obtenu lorsque les chauffe-eau opèrent sur une base continue en mode trois (3) éléments. On y remarque l'appel de puissance maximal durant les périodes de 7h à 11h le matin ainsi que de 17h à 21h le soir. Durant la période du matin, la puissance maximale appelée se situe à 0,6 kW tandis que durant la période du soir à 0,68 kW. De tout ceci, on en déduit que la courbe d'appel de puissance est aplatie en fonction du temps. La

puissance P_j représente la moyenne de la puissance dans un intervalle de cinq (5) minutes de tous les clients :

Équation 1 :
$$P_j = \frac{\sum_{n=1}^{n=75} P_n}{n}$$
 où $j = 1$ à 288 i.e. un intervalle de cinq (5) minutes

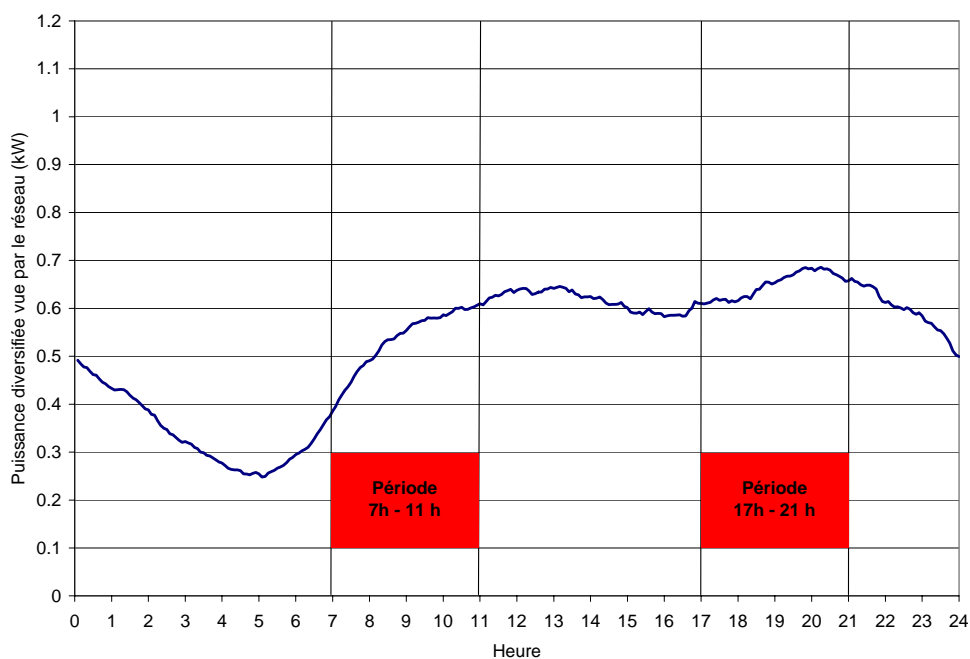


Figure S-2 : Puissance diversifiée vue par le réseau

Enfin, il est intéressant de remarquer que la valeur à 24 h se situe au même seuil que celle à 0h. C'est donc dire que le phénomène est répétitif d'un jour à l'autre et qu'il n'y a pas de discontinuité dans la fonction.

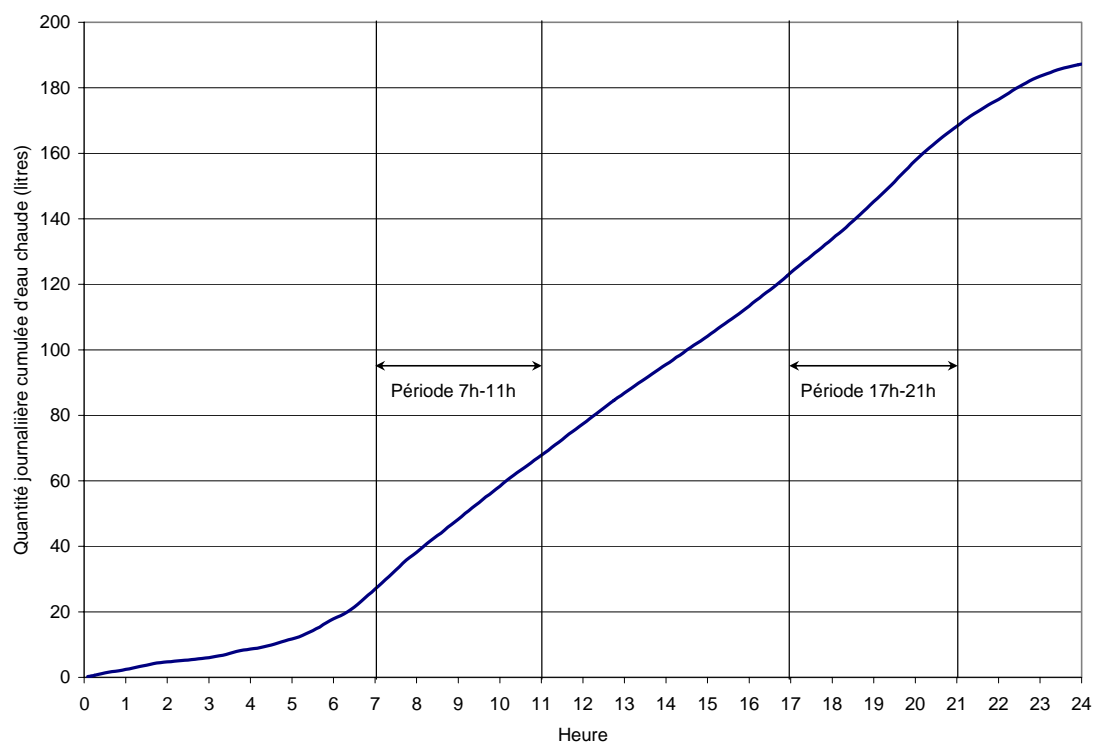


Figure S-3 : Profil de consommation d'eau cumulé moyen

La Figure S-3 démontre que le profil cumulé moyen atteint 187,1 litres en fin de journée. Il s'agit donc là de la consommation journalière de l'ensemble des foyers durant toute l'expérience pilote. Dans le rapport LTE-RT-2008-0108, une valeur de 194 litres avait été mesurée durant l'expérience, soit la saison 2006 / 2007.

De manière à pousser à fond l'analyse, le temps de fonctionnement du chauffe-eau à chaque niveau de puissance a été calculé durant les heures critiques, c'est-à-dire entre 7h et 11h ainsi que de 17h à 21h. De cette manière, on peut ainsi connaître le fonctionnement du chauffe-eau à proprement parler en ce qui a trait aux temps d'opération des éléments de puissances différentes. De toute évidence, on espérait que ce soit uniquement l'élément de 800 Watts qui soit activé sur une base continue. Toutefois, il peut arriver à l'occasion que l'élément intermédiaire de 3 000 Watts fonctionne simultanément avec l'élément du bas de 800 Watts ce qui implique alors une puissance globale appelée par le chauffe-eau de 3 800 Watts.

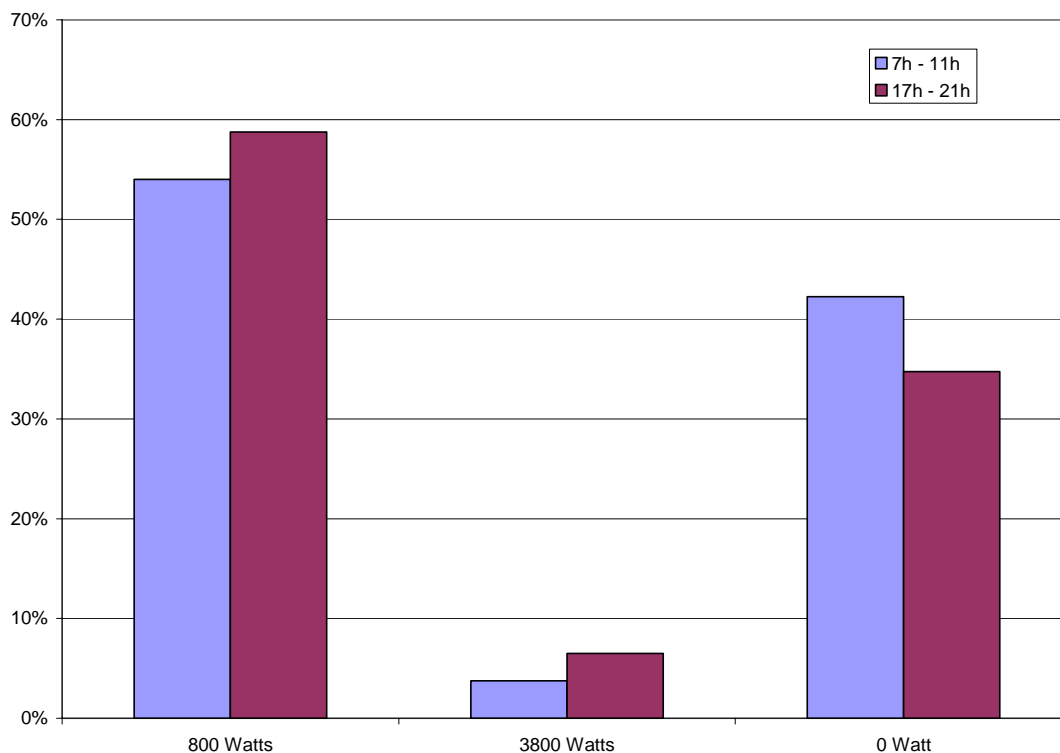


Figure S-4 : Temps de fonctionnement dans les heures critiques en fonction du niveau de puissance

La Figure S-4 indique le temps de fonctionnement à un niveau de puissance de 800 Watts, à un niveau de puissance de 3 800 Watts ainsi que le temps à l'arrêt, i.e. 0 Watts. Deux périodes d'heures critiques d'une durée de quatre heures chaque sont incluses soit de 7h à 11h ainsi que de 17h à 21h. La puissance appelée de 800 Watts survient approximativement 55 % du temps, le temps d'arrêt 40 % et la puissance appelée de 3 800 Watts 5 %. Ces puissances sont étalées durant les périodes d'une durée de quatre (4) heures mises en cause.

Cette étude complète des travaux antérieurs d'un nouveau concept de chauffe-eau à trois éléments pour réduire l'appel de puissance du réseau électrique d'Hydro-Québec. Les résultats ont démontré que le nouveau concept de chauffe-eau permet de réduire l'appel de puissance à une valeur inférieure à 800 Watts comparativement au concept conventionnel et de ce fait, c'est une réduction de l'ordre de 20 % qui est obtenue par ce nouveau concept et ce à l'aide d'une méthode simple et peu onéreuse.

Un autre aspect intéressant s'avère être la reprise après panne. Advenant le cas que la panne soit de courte durée, par exemple trois heures, uniquement l'élément de 800 Watts sera remis en fonction comparativement au 4 500 Watts traditionnel. Il s'agit là d'un autre avantage de ce concept.

Enfin, l'enquête effectuée auprès de la clientèle par l'entremise d'un questionnaire à remplir à la fin de l'expérience pilote permet de conclure que le concept est transparent au client, qu'il n'a même pas besoin de modifier ses habitudes afin de réduire l'appel de puissance et que de surcroît, il ne perçoit aucune différence de quelque manière que ce soit. Enfin, une enquête effectuée auprès l'entrepreneur Confort Expert démontre que ce nouveau concept de chauffe-eau est même plus fiable que les chauffe-eau conventionnels à deux (2) éléments car les composantes électriques sont moins sollicitées.

Il ne reste maintenant qu'à Hydro-Québec Distribution de décider s'ils veulent promouvoir ce produit. Au moment de publier ce rapport, le coût évité en puissance est de 67,50 \$ par kW (fourniture = 10,40 \$, transport = 33,80 \$, distribution = 12,90 \$, prime de déplacement de l'énergie pointe/hors pointe = 10,40 \$). Enfin, un plein crédit est accordé si la réduction de puissance est présente durant toutes les heures de pointe du Distributeur (2 x 4 heures par jour, jours ouvrables, de décembre à mars). Puisque la réduction d'appel de puissance est de l'ordre de 200 Watts avec ce concept de chauffe eau, il s'agit donc d'une économie de 13 \$ annuellement. Enfin, le surcoût de ce nouveau concept étant de l'ordre de dix (10) dollars, le chauffe-eau se rentabilise en approximativement 1 an.



André Laperrière, chercheur
Projet d'innovation stratégique
Laboratoire des technologies de l'énergie d'Hydro-Québec (L.T.E.)

Remerciements

L'auteur remercie Hydro-Québec Distribution au niveau corporatif pour le support de ce projet, l'aide de nombreux employés à tous les niveaux de cette unité tout au long de ce projet ainsi que la firme Giant pour son étroite collaboration. Enfin, ce rapport est dédié à des collègues de travail du LTE qui tout au long de ce projet m'ont apporté des conseils judicieux, notamment M. Jocelyn Millette, M. Hakim Nesreddine, M. Simon Sansregret et M. Éric Dumont. Finalement, Mme Danielle Richard pour l'édition de ce rapport.

Table des matières

	Pages
Introduction.....	1
1. Nouveau concept et essais 2006 / 2007	5
2. Essais 2007 / 2008 du nouveau chauffe-eau	7
3. Appel de puissance des chauffe-eau	21
4. Fiabilité du chauffe-eau et satisfaction	25
5. Efficacité énergétique du chauffe-eau	33
6. Conclusions de l'étude	37
Annexe 1 : Gestion de la demande	39
Annexe 2 : Sondage du projet pilote.....	41
Annexe 3 : Durée de vie des chauffe-eau	51
Annexe 4 : Portrait du chauffage de l'eau	55
Annexe 5 : L'impact de l'eau.....	57

Liste des figures

	Pages
Figure 1 : Appel diversifié typique d'un chauffe-eau électrique avec résistance (courbe du haut) et pompe à chaleur courbe du bas	1
Figure 2 : Modifications de charge moyenne avec ordonnancement des chauffe-eau	2
Figure 3 : Effet de la reprise d'un parc de chauffe-eau simulé par TRNSYS	3
Figure 4 : Principe du chauffe-eau à trois (3) éléments	5
Figure 5 : Profils de consommation d'eau chaude (2006 / 2007)	6
Figure 6 : Profils de puissance diversifiés en (2006 / 2007)	6
Figure 7 : Profil cumulé moyen journalier des clients (2007 / 2008)	7
Figure 8 : Profil cumulé moyen journalier des clients (2007 / 2008)	8
Figure 9 : Distribution des consommations de l'expérience pilote (2007 / 2008)	8
Figure 10 : Litres journaliers d'eau chaude par client (2007 / 2008).....	10
Figure 11 : kWh par litre journalier d'eau chaude en fonction de la consommation journalière moyenne d'eau chaude par client (2007 / 2008)	11
Figure 12 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 17h et 21h selon le % de temps de fonctionnement de l'élément de 800 Watts (2007 / 2008)	12
Figure 13 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 17h et 21 h selon la consommation journalière moyenne d'eau chaude par ménage (2007 / 2008)	13
Figure 14 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 7h et 11h selon le % de temps de fonctionnement de l'élément de 800 Watts (2007 / 2008)	13
Figure 15 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 7h et 11 h selon la consommation journalière moyenne d'eau chaude par ménage (2007 / 2008)	14
Figure 16 : Consommation journalière moyenne d'eau chaude du ménage selon le nombre de personnes du ménage	19
Figure 17 : Circuit de permutation maintenu en mode trois (3) éléments	21
Figure 18 : Appel de puissance diversifié mode trois (3) éléments (kW)	22
Figure 19 : Fonctionnement des éléments durant la période de 7h à 11 h	22
Figure 20 : Fonctionnement des éléments durant la période de 17h à 21 h	23
Figure 21 : Chauffe-eau à trois (3) éléments de 270 litres fabriqué par la compagnie Giant	28
Figure 22 : Élément de 800 Watts utilisé durant deux (2) ans vu sous deux angles	29
Figure 23 : Élément de 800 Watts (en haut) utilisé durant deux (2) ans versus un élément neuf de 3 800 Watts en bas	29
Figure 24 : Élément de 800 Watts et thermostat	29

Figure 25 : Puissance appelée de 800 Watts selon le volume d'eau froide.....	30
Figure 26 : Puissance appelée de 3 800 Watts selon le volume d'eau froide	30
Figure 27 : Puissance appelée de 3 800 Watts selon le volume d'eau froide	31
Figure 28 : Comparaison entrée eau froide par le bas versus entrée d'eau froide par le haut	34
Figure 29 : Comparaison des MEPS (Minimum Energy Performance Standard) en l'an 2000	35

Liste des tableaux

	Pages
Tableau 1 : Distribution des bins (litres par jour) de chaque client en termes de pourcentage (2007 / 2008).....	9
Tableau 2 : Calcul de la température d'eau d'aqueduc (°C)	11
Tableau 3 : % de temps de la puissance appelée	15
Tableau 4 : % de temps de la puissance appelée trié selon le débit journalier	16
Tableau 5 : Résultats des ménages selon le triage de litres journalier par personne entre 7h et 11h am	17
Tableau 6 : Résultats des ménages selon le triage de litres journaliers par ménage	18
Tableau 7 : Caractérisation des ménages	19
Tableau 8 : Pertes en attente au fil des ans.....	36
Tableau 9 : Puissance diversifiée du chauffe-eau trois (3) éléments	37

Sur une base quotidienne, l'appel de puissance diversifié des chauffe-eau possède deux plateaux, soit celui du matin et celui de l'après-midi. Ces plateaux correspondent à ceux du réseau d'Hydro-Québec lorsqu'il est fortement sollicité.

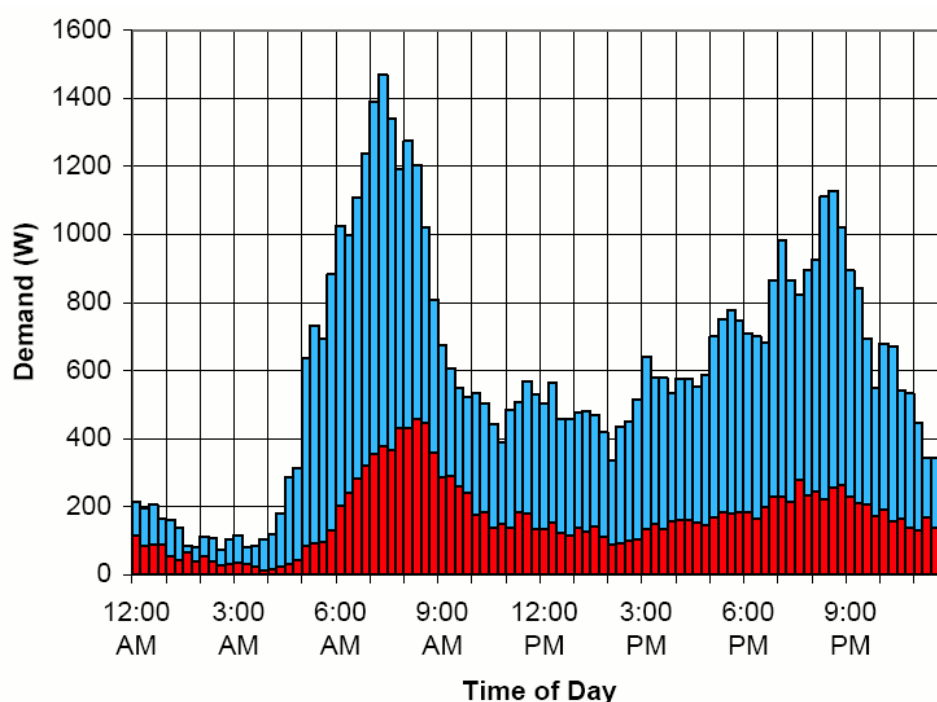


Figure 1 : Appel diversifié typique d'un chauffe-eau électrique avec résistance (courbe du haut) et pompe à chaleur courbe du bas ¹

Or, un chauffe-eau électrique étant en soi un accumulateur thermique, on a donc avantage à vouloir aplatir la demande durant la période pointe. Dans le passé, diverses techniques ont été explorées et ce dès 1989.² Dans ce rapport de 1989, on y mentionne qu'il faut être prudent lors de l'arrêt de chauffe-eau en espérant réduire l'appel de puissance.

¹ NYLE Heat-pump water heater evaluation – Final report – January 2002, Submitted to Northeast Utilities, AIL Research, Inc.

² Ton-That, Quoc-Anh; Laperrière, André; Évolution technologique des chauffe-eau; Rapport 8904 U 707; évolution technologique des chauffe-eau; LTEE (Laboratoire des technologies électrochimiques et des électrotechnologies, Hydro-Québec; 1989, Rapport 8904 U707 Association canadienne de l'électricité..

Notamment, que les stratégies par récupération exercent une plus grande incidence que le cyclage et elles sont accomplies en mettant hors service des groupe de dispositifs pendant des périodes de plusieurs heures consécutives. Après suppression de la commande, le groupe de dispositifs présente alors au réseau une demande qui peut être plus forte que la normale. Il s'agit de l'effet dit « récupération ». Parfois désigné « effet de retour », ce phénomène représente la plus grande contrainte de cette stratégie de la charge. Son ampleur dépend de la durée pendant laquelle les chauffe-eau ont été mis hors service et de la courbe de consommation d'eau pendant cette période de temps hors service.

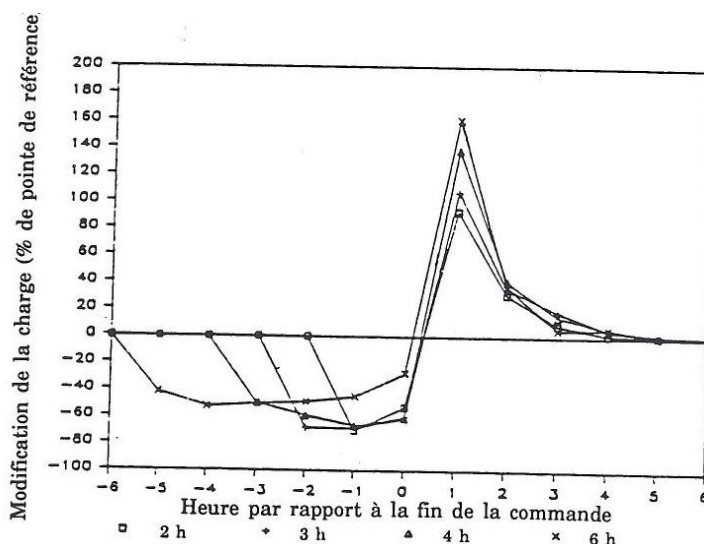


Figure 2 : Modifications de charge moyenne avec ordonnancement des chauffe-eau³

Ainsi, si une charge diversifiée est de 1 kW et que le chauffe-eau est interrompu durant quatre heures, on obtiendra lors de la remise en fonction une augmentation de puissance. Il s'agit selon le graphique précédent d'une modification de 140 %, soit dans le présent exemple de 1,4 kW. Somme toute, la puissance appelée lors de la remise en fonction serait de 2,4 kW (1 kW + 1,4 kW = 2,4 kW). En 2006, dans un rapport précité du LTE, le chercheur Hakim Nesreddine a également démontré par simulation à l'aide de TRANSYS que la puissance diversifiée d'un parc de chauffe-eau après un arrêt de 3 heures (6h am à 9 h am ; 5h pm à 8 h pm) peut atteindre de l'ordre de

³ Rapport 8904 U707 Association canadienne de l'électricité, précité.

3 kW. Somme toute, l'interruption d'un parc de chauffe-eau peut effectivement créer une pointe électrique même supérieure à celle que l'on a voulu éviter.

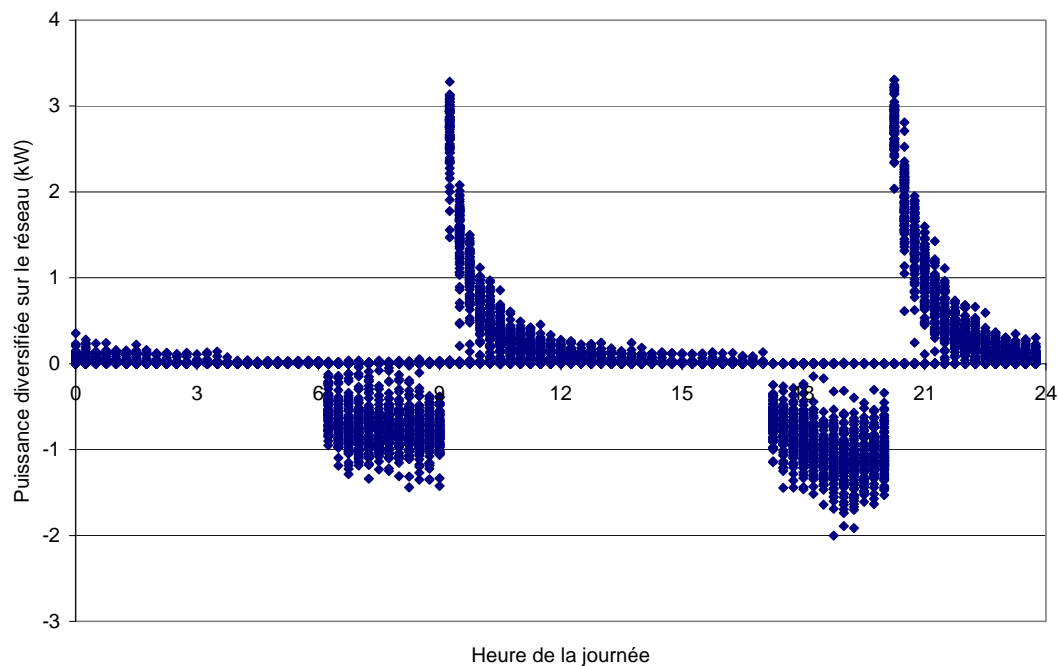


Figure 3 : Effet de la reprise d'un parc de chauffe-eau simulé par TRNSYS

L'annexe 1 présente un « white paper » relativement à l'arrêt d'un parc de chauffe-eau. Selon ce papier d'un manufacturier, on ne tient pas compte de l'effet de reprise ce qui laisse accroire à des économies supérieures d'où le concept du chauffe-eau à trois éléments.

1. Nouveau concept et essais 2006 / 2007

Le concept du chauffe-eau à trois (3) éléments a été décrit dans les rapports LTE-RT-2006-0114 et LTE-RT-2008-0108. Le principe est montré à la Figure 4.

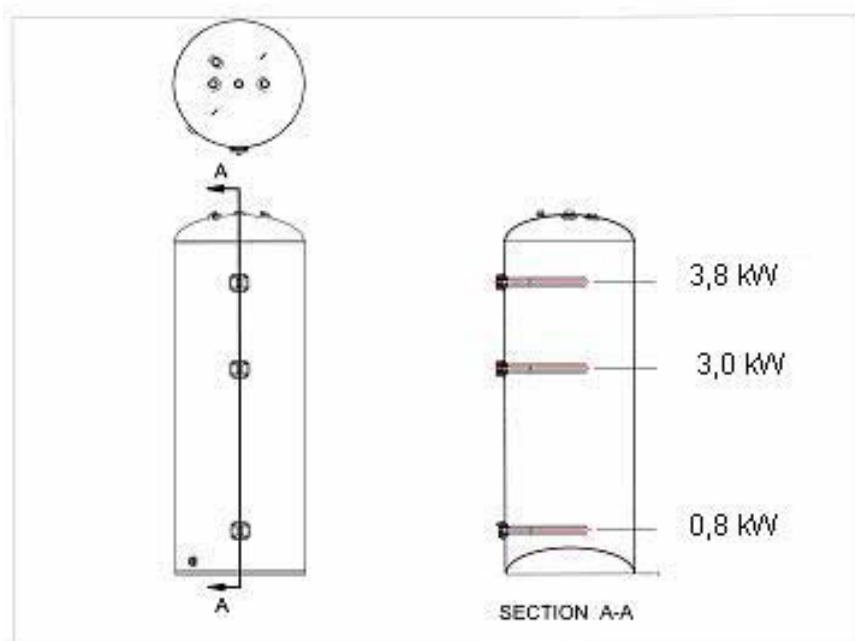


Figure 4 : Principe du chauffe-eau à trois (3) éléments.

Le principe de base consiste à faire fonctionner un élément de faible puissance dans le bas du chauffe-eau dont la valeur nominale se situe sous la puissance diversifiée du réseau. En 2006 / 2007, un chauffe-eau à cinq (5) éléments a été construit de manière à alterner d'un jour à l'autre du mode 2 éléments conventionnel au nouveau concept de chauffe-eau à trois (3) éléments.

La Figure 5 indique les profils de consommation obtenus en 2006 / 2007 pour chacun des modes en termes de profil de soutirage moyen d'eau chaude tandis que la Figure 6 représente la comparaison de l'appel de puissance appelée. Somme toute, les essais effectués en 2006 / 2007 ont démontré le potentiel de réduction de puissance d'un tel chauffe-eau.

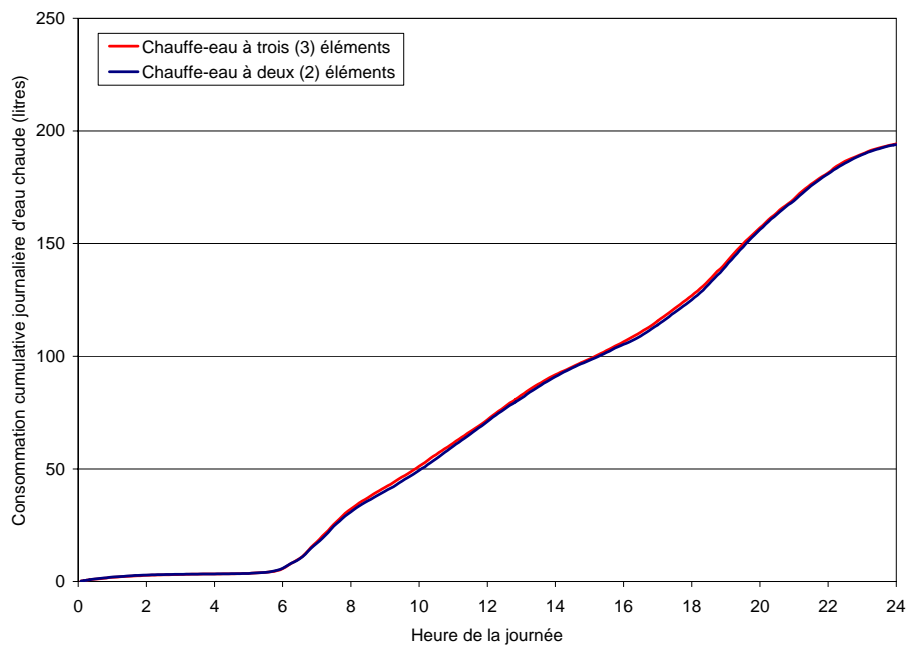


Figure 5 : Profils de consommation d'eau chaude (2006 / 2007)

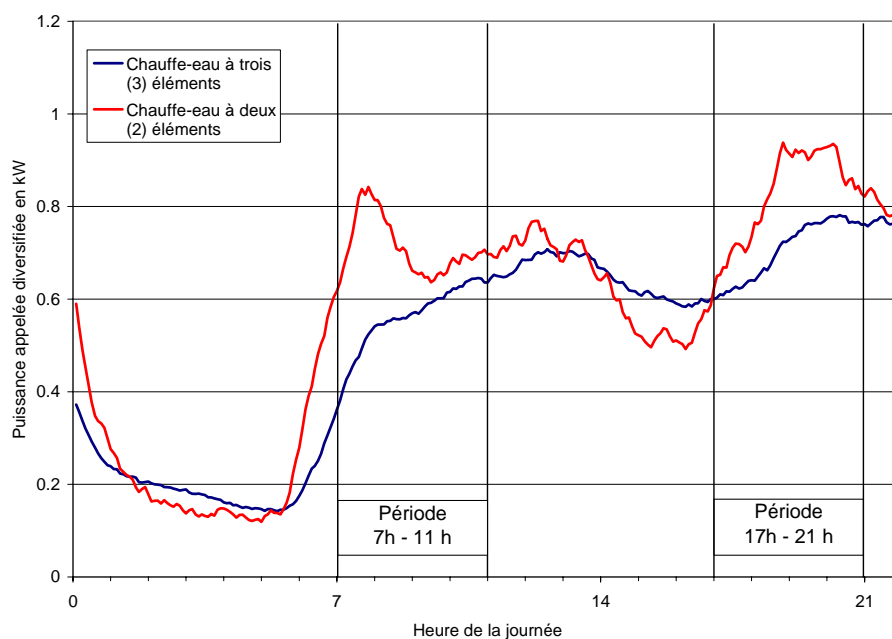


Figure 6 : Profils de puissance diversifiés en (2006 / 2007)

2. Essais 2007 / 2008 du nouveau chauffe-eau

Les essais se sont poursuivis en 2007 / 2008 mais cette fois-ci en opérant uniquement sur le mode 3 éléments. De cette manière, on désirait s'assurer qu'un client qui posséderait ce type de chauffe-eau serait satisfait et qu'il ne manquerait pas d'eau chaude. En effet, quelqu'un aurait pu prétendre que le chauffe-eau en alternant du mode deux (2) éléments au mode trois (3) éléments bénéficiait d'une surpuissance de la journée précédente, i.e. la puissance élevée lorsque le chauffe-eau opère uniquement en mode deux (2) éléments. Le chauffe-eau utilisé strictement en mode trois (3) éléments durant la saison 2007 / 2008 permet donc de s'assurer hors de tout doute que la performance est au rendez-vous. La Figure 7 présente le profil journalier moyen de tous les clients. La consommation journalière moyenne se situe à 189,1 litres.

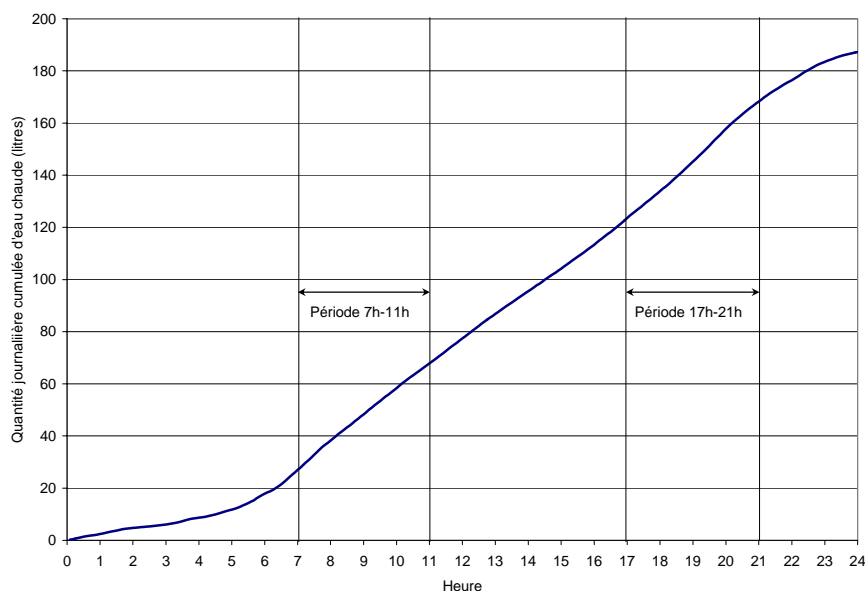


Figure 7 : Profil cumulé moyen journalier des clients (2007 / 2008)

Durant la saison 2006 / 2007, une valeur de 194 litres avait été obtenue ce qui signifie que la consommation est reproductible d'une année à l'autre. La Figure 8 indique sur la ligne rouge cette valeur moyenne de 189,1 litres et chacun des clients. Il est à noter que pour cette saison 2007 / 2008, l'expérience pilote a été réduite à 72 clients puisque que dans trois (3) cas, nous avons dû procéder au démantèlement des installations à cause de la vente de la maison du client. Cette décision a été prise de manière à ne pas avoir à transférer les obligations contractuelles et légales d'un client à un autre.

La Figure 8 illustre par chaque point la consommation moyenne journalière d'eau chaude de chaque client, la ligne rouge étant la moyenne de tous les clients, soit 189,1 litres

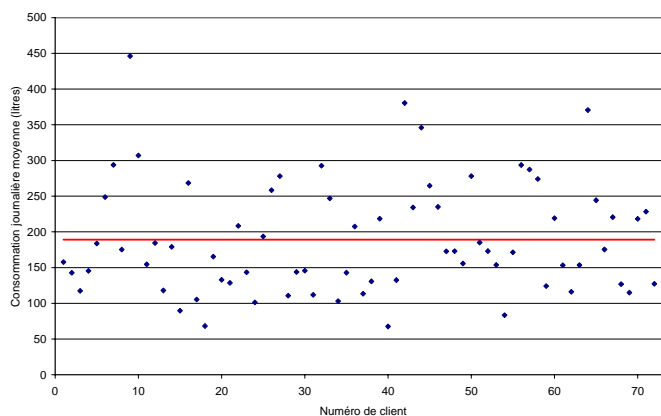


Figure 8 : Profil cumulé moyen journalier des clients (2007 / 2008)

La Figure 9 illustre comment se distribuent toutes les consommations journalières d'eau chaude des clients, le Tableau 1 étant la synthèse de cette figure.

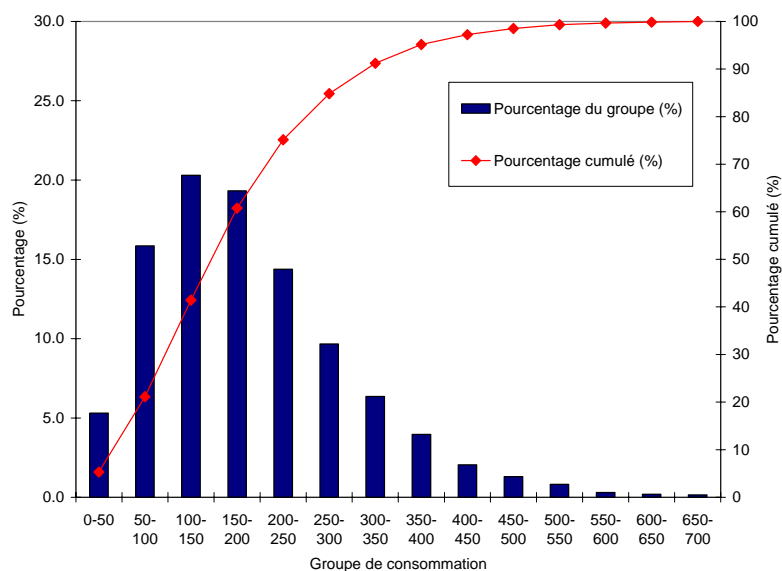


Figure 9 : Distribution des consommations de l'expérience pilote (2007 / 2008)

Tableau 1 : Distribution des bins (litres par jour) de chaque client en termes de pourcentage (2007 / 2008)

Client	litres journalier		Bin 1 0-50	Bin 2 50-100	Bin 3 100-150	Bin 4 150-200	Bin 5 200-250	Bin 6 250-300	Bin 7 300-350	Bin 8 350-400	Bin 9 400-450	Bin 10 450-500	Bin 11 500-550	Bin 12 550-600	Bin 13 600-650	Bin 14 650-700
1	158	ch-1	1	14	32	36	9	5	4	0	0	0	0	0	0	0
2	143	ch-2	3	21	32	29	10	6	0	0	0	0	0	0	0	0
3	117	ch-3	3	27	55	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	145	ch-4	0	17	47	21	11	3	2	0	0	0	0	0	0	0
5	184	ch-5	5	12	18	25	20	13	4	2	1	0	0	0	0	0
6	249	ch-6	2	4	2	18	28	24	10	6	2	4	0	0	0	0
7	294	ch-7	0	1	3	12	20	22	20	8	6	5	3	1	0	0
8	175	ch-8	2	17	19	29	21	6	3	2	1	0	0	0	0	0
9	446	ch-9	0	4	0	0	4	8	4	8	13	21	21	4	4	8
10	307	ch-10	1	4	5	10	20	13	11	9	10	7	3	2	2	1
11	154	ch-11	4	21	29	19	15	8	4	0	0	0	0	0	0	0
12	184	ch-12	1	5	17	40	29	6	2	1	0	0	0	0	0	0
13	118	ch-13	1	10	27	27	23	8	5	0	0	0	0	0	0	0
14	179	ch-14	1	2	20	53	15	5	3	1	0	0	0	0	0	0
15	90	ch-15	12	54	24	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	268	ch-17	2	4	4	9	19	22	24	9	4	2	1	0	0	0
17	105	ch-18	20	36	21	15	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0
18	68	ch-19	49	25	22	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	165	ch-20	11	24	21	13	6	11	5	6	1	0	2	0	0	0
20	133	ch-21	8	27	28	23	8	4	1	1	0	0	0	0	0	0
21	129	ch-22	12	27	30	14	9	6	1	1	0	0	0	0	0	0
22	208	ch-24	3	8	15	31	16	11	6	5	1	1	1	0	1	0
23	143	ch-25	0	15	43	32	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	101	ch-26	2	51	40	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	194	ch-27	0	4	16	39	25	12	3	1	0	0	0	0	0	0
26	258	ch-28	0	1	6	18	23	23	20	7	3	0	0	1	0	0
27	278	ch-29	0	1	4	12	20	22	23	11	5	1	1	0	0	0
28	111	ch-30	15	25	44	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	144	ch-31	6	14	42	23	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0
30	146	ch-32	10	30	22	12	12	11	1	1	0	0	0	0	0	0
31	112	ch-33	9	29	47	10	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
32	293	ch-34	0	1	1	6	18	28	25	16	1	1	1	0	0	0
33	247	ch-35	1	0	5	24	26	22	12	5	3	3	0	0	0	0
34	103	ch-36	12	49	22	12	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
35	143	ch-37	4	13	48	24	8	1	2	0	0	0	0	0	1	0
36	207	ch-38	2	13	17	26	14	6	10	5	5	1	1	0	1	0
37	113	ch-39	3	37	43	14	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
38	131	ch-40	8	27	31	18	9	5	1	0	0	0	0	0	0	0
39	218	ch-41	0	9	15	24	17	17	10	4	2	1	1	1	0	0
40	68	ch-42	33	50	15	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
41	133	ch-43	12	24	26	20	12	5	0	1	0	0	0	0	0	0
42	380	ch-44	0	1	1	2	8	10	14	20	20	12	5	3	3	0
43	234	ch-45	0	0	4	26	33	26	9	1	1	0	0	0	0	0
44	346	ch-46	0	0	1	3	8	13	24	29	11	8	1	1	1	0
45	265	ch-47	0	4	4	21	17	17	16	13	6	1	0	1	0	0
46	235	ch-48	2	5	14	18	22	17	11	5	1	3	2	0	0	0
47	173	ch-49	2	8	26	24	26	13	0	0	0	0	0	0	0	0
48	173	ch-50	11	9	12	29	28	8	3	0	0	0	1	0	0	0
49	156	ch-51	4	20	32	19	13	6	3	1	1	0	0	0	0	0
50	278	ch-52	0	1	8	18	16	23	13	8	5	2	2	2	1	1
51	185	ch-53	1	11	34	18	19	5	6	3	1	1	1	0	0	0
52	173	ch-55	3	4	21	48	16	6	1	0	0	0	0	0	0	0
53	154	ch-56	4	10	34	31	17	1	2	1	0	0	0	0	0	0
54	83	ch-57	15	58	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	172	ch-58	1	20	18	34	11	11	3	0	2	0	0	0	0	0
56	294	ch-59	0	1	7	13	16	16	20	14	7	5	3	0	0	0
57	287	ch-60	0	0	3	7	22	28	17	14	5	3	0	0	0	0
58	274	ch-61	0	1	1	10	25	33	13	13	3	1	0	0	0	0
59	124	ch-62	3	39	26	21	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0
60	219	ch-63	2	5	8	27	29	16	8	3	2	0	0	0	1	0
61	153	ch-64	7	18	23	27	16	6	3	1	0	0	0	0	0	0
62	116	ch-65	12	43	19	13	5	0	5	1	0	0	1	0	0	0
63	154	ch-66	8	15	27	28	15	4	3	1	0	0	0	0	0	0
64	371	ch-67	0	1	3	3	8	9	22	19	14	7	7	7	1	1
65	244	ch-68	2	9	11	11	17	16	17	9	6	1	0	0	0	0
66	175	ch-69	1	1	16	55	26	1	0	0	0	0	0	0	0	0
67	221	ch-70	7	6	10	21	21	14	9	8	2	1	1	0	0	0
68	127	ch-71	8	25	40	15	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0
69	115	ch-72	15	37	29	10	3	2	1	1	1	0	1	0	0	0
70	218	ch-73	5	4	6	17	40	15	6	5	1	1	0	0	0	0
71	228	ch-74	1	5	8	18	27	27	10	3	1	0	0	0	0	0
72	127	ch-75	12	23	32	22	7	4	1	0	0	0	0	0	0	0

La Figure 10 montre la consommation journalière d'eau chaude par personne pour chacun des ménages. Somme toute, il s'agit approximativement d'une valeur de 60 litres par personne par jour. Or, puisque le ménage moyen se situe à 3 personnes, une valeur de l'ordre de 190 litres par jour par ménage devient logique et c'est d'ailleurs ce qui a été obtenu expérimentalement.

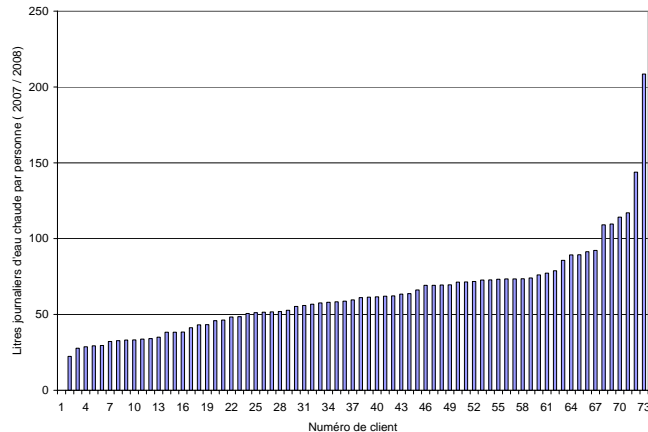


Figure 10 : Litres journaliers d'eau chaude par client (2007 / 2008)

L'énergie totale est une combinaison de l'énergie pour chauffer l'eau et l'énergie pour combattre les pertes en attente. Pour une faible consommation d'eau chaude, la contribution des pertes en attente devient plus élevée à l'énergie globale requise. Au contraire, pour une consommation journalière d'eau élevée, la contribution des pertes en attente est plus faible en termes de pourcentage relatif. Ceci est reflété dans les mesures obtenues durant la saison 2007 / 2008. On peut donc représenter le tout sur une base journalière par :

Équation 1 : $Q_{total} = Q_{eau} + Q_{pertes}$

Chaleur spécifique de l'eau = 4 184 J/kg.°C ou 0,001163 kWh / (l - °C)

Équation 2 : $Q_{eau} = 0,001163 \frac{\text{kWh}}{\text{l} \cdot \text{°C}} (60\text{°C} - T_{\text{aqueduc}}) \text{Volume}$

Volume représentant la consommation journalière d'eau chaude en litres

Équation 3 : $Q_{pertes} = 24 (40 + 0,2 V)$ où $V = 270$ litres, la capacité du chauffe-eau

$Q_{pertes} \text{ (kWh)} = 2,26 \text{ kWh}$

Équation 4 : $Q_{eau} = Q_{total} - Q_{pertes}$

Équation 5 : $T_{\text{aqueduc}} = 60\text{°C} - \frac{Q_{eau}}{(0,001163 \times \text{Volume})}$

En assumant une température d'eau dans le chauffe-eau à 60 °C, c'est-à-dire la température de réglage des thermostats en usine, il est possible de calculer la température d'eau d'alimentation au chauffe-eau. Toutefois, la perte en attente établie selon la norme CSA-C191 est basée sur un chauffe-eau en attente sans consommation d'eau. Il faut donc s'attendre à ce que les pertes en attente réelles soient inférieures car la température moyenne de l'eau est inférieure à celle obtenue lors des essais de CSA-C191. Compte tenu que les essais ont eu lieu durant la période d'hiver (i.e. de début novembre à avril), une température de 8 °C est réaliste !

Tableau 2 : Calcul de la température d'eau d'aqueduc (°C)

% des Pertes CSA C191	(Pertes) kWh	volume (litres)	(Total) kWh/litre	(Total) kWh	(Eau) kWh	T aqueduc °C
100%	2,26	200	0,0679	13,58	11,32	11
90%	2,03	200	0,0679	13,58	11,55	10
80%	1,80	200	0,0679	13,58	11,78	9
70%	1,58	200	0,0679	13,58	12,00	8
60%	1,35	200	0,0679	13,58	12,23	7

La Figure 11 représente la valeur mesurée chez les clients en kWh / litre, cette valeur incluant également la perte en attente du chauffe-eau. Chaque point du graphique représente un client.

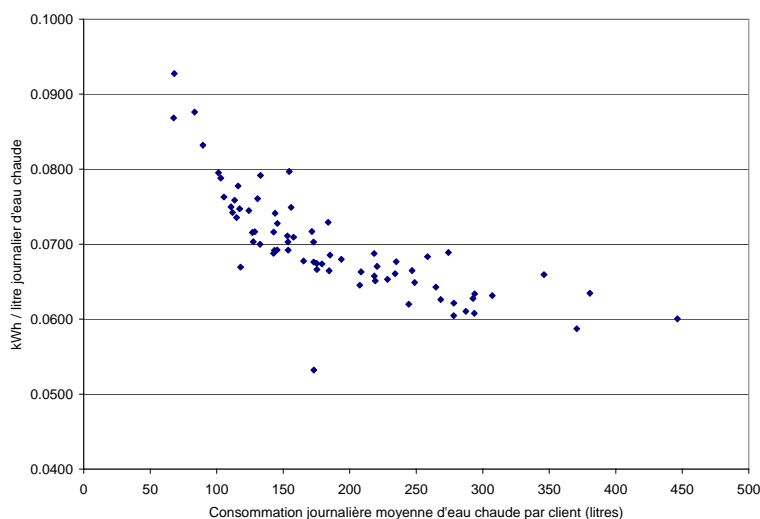


Figure 11 : kWh par litre journalier d'eau chaude en fonction de la consommation journalière moyenne d'eau chaude par client (2007 / 2008)

Les Figures 12 et 13 présentent le % du temps d'appel de puissance du chauffe-eau durant la période critique de 17h à 21h. Ainsi, la Figure 12 démontre que plus l'élément de 800 Watts est sollicité et davantage l'élément intermédiaire de 3 000 Watts sera activé. En effet, lorsque l'élément de 800 Watts et l'élément de 3 000 Watts sont activés simultanément, alors la puissance appelée totale atteint 3 800 Watts. Ainsi, la valeur sur l'extrême gauche de la Figure 12 signifie que la puissance appelée est de 800 Watts durant 30 % du temps, la puissance de 0 Watts pendant 68 % du temps et une puissance appelée pendant 2 % du temps durant la période de 17h à 21h.

Pour la Figure 13, les données ont été triées par ordre croissant de consommation d'eau chaude. Intuitivement, il est attendu que plus la consommation moyenne d'eau chaude augmente et davantage l'élément de 3 000 Watts devrait être sollicité, ce qui implique alors une puissance totale de 3 800 Watts.

Les Figures 14 et 15 reprennent la même logique mais cette fois-ci pour la période du matin de 7h à 11h. La même tendance obtenue précédemment pour la période de l'après-midi se reproduit pour la période du matin. On remarque que l'élément de 800 Watts est activement mis en fonction. Sur l'axe des abscisses, il existe 72 valeurs ce qui représente les 72 ménages. Ainsi, on connaît comment un ménage en particulier s'est comporté durant l'expérience pilote.

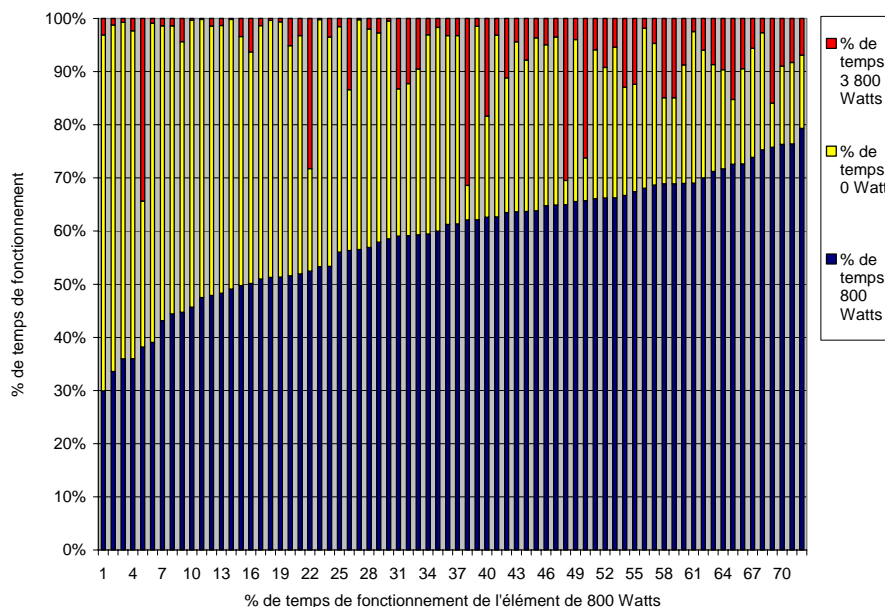


Figure 12 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 17h et 21h selon le % de temps de fonctionnement de l'élément de 800 Watts (2007 / 2008)

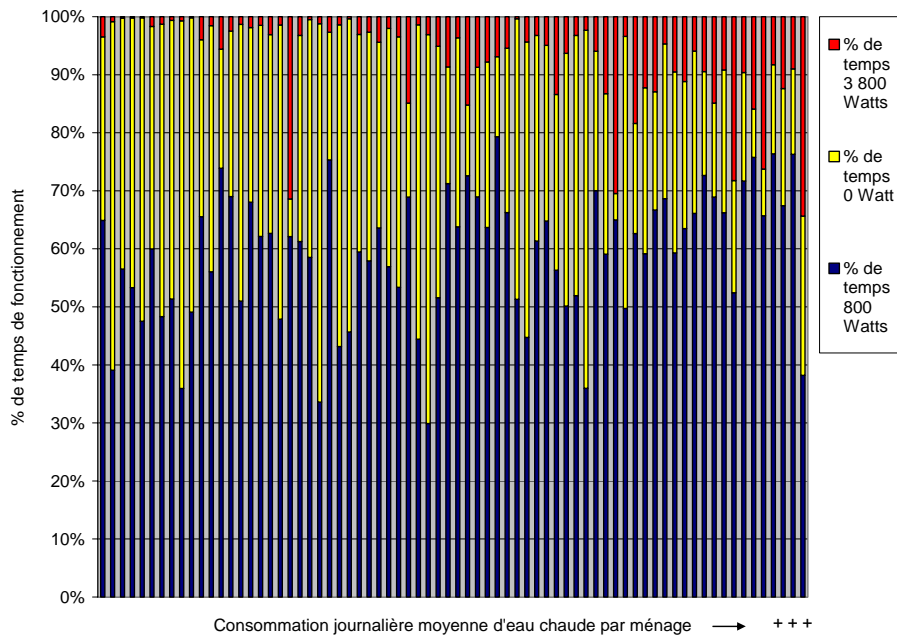


Figure 13 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 17h et 21 h selon la consommation journalière moyenne d'eau chaude par ménage (2007 / 2008)

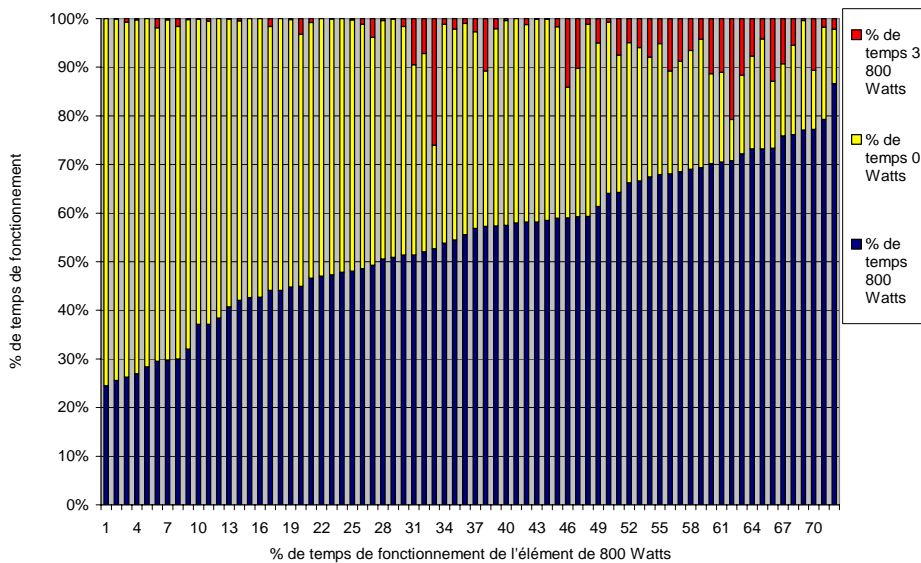


Figure 14 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 7h et 11h selon le % de temps de fonctionnement de l'élément de 800 Watts (2007 / 2008)

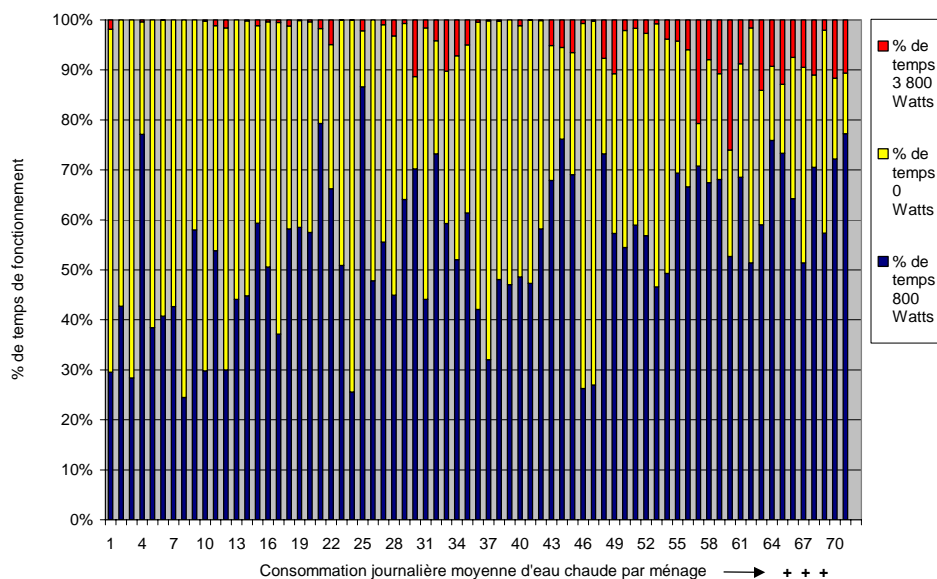


Figure 15 : % de temps de la puissance appelée du chauffe-eau entre 7h et 11 h selon la consommation journalière moyenne d'eau chaude par ménage (2007 / 2008)

Les valeurs correspondantes aux figures précédentes se retrouvent dans les Tableaux 3 et 4. Les données ont de plus été triées par ordre croissant de débit journalier de manière à en faciliter la lecture.

Tableau 3 : % de temps de la puissance appelée

Client	litres journalier		7h à 11h			17h à 21h		
			800 Watts	3800 Watts	0 Watts	800 Watts	3800 Watts	0 Watts
1	158	ch-1	2,93	0,17	0,91	1,78	0,06	2,17
2	143	ch-2	3,18	0,07	0,76	2,34	0,02	1,64
3	117	ch-3	1,20	0,06	2,74	2,95	0,22	0,82
4	145	ch-4	3,47	0,09	0,45	1,83	0,01	2,16
5	184	ch-5	1,89	0,00	2,11	2,65	0,22	1,13
6	249	ch-6	2,67	0,24	1,10	2,67	0,52	0,82
7	294	ch-7	2,57	0,30	1,13	3,03	0,64	0,33
8	175	ch-8	1,92	0,01	2,07	2,76	0,35	0,89
9	446	ch-9	3,09	0,42	0,49	1,53	1,38	1,10
10	307	ch-10	2,06	0,38	1,56	2,63	1,05	0,32
11	154	ch-11	2,81	0,45	0,74	2,14	0,14	1,73
12	184	ch-12	2,33	0,01	1,67	2,05	0,01	1,93
13	118	ch-13	1,77	0,00	2,23	2,76	0,10	1,14
14	179	ch-14	1,94	0,05	2,01	3,17	0,28	0,55
15	90	ch-15	1,13	0,00	2,87	2,13	0,01	1,86
16	268	ch-17	2,72	0,43	0,85	2,54	0,45	1,01
17	105	ch-18	1,63	0,00	2,37	1,93	0,05	2,02
18	68	ch-19	1,18	0,07	2,74	1,56	0,03	2,40
19	165	ch-20	2,37	0,41	1,22	1,20	0,12	2,68
20	133	ch-21	2,30	0,02	1,68	2,45	0,13	1,42
21	129	ch-22	1,49	0,02	2,49	2,51	0,12	1,37
22	208	ch-24	1,05	0,03	2,92	2,25	0,54	1,21
23	143	ch-25	2,04	0,00	1,96	3,01	0,11	0,88
24	101	ch-26	3,09	0,02	0,90	1,90	0,01	2,09
25	194	ch-27	3,05	0,22	0,73	2,45	0,13	1,42
26	258	ch-28	2,83	0,83	0,34	2,75	0,19	1,07
27	278	ch-29	2,74	0,35	0,91	2,91	0,38	0,72
28	111	ch-30	1,71	0,00	2,29	2,05	0,02	1,92
29	144	ch-31	1,02	0,00	2,97	1,73	0,06	2,22
30	146	ch-32	1,91	0,00	2,09	2,38	0,12	1,50
31	112	ch-33	0,98	0,00	3,02	1,44	0,03	2,53
32	293	ch-34	3,04	0,37	0,59	2,10	1,13	0,77
33	247	ch-35	2,77	0,17	1,06	2,37	0,49	1,14
34	103	ch-36	1,54	0,00	2,46	2,40	0,07	1,53
35	143	ch-37	2,65	0,20	1,15	1,34	0,05	2,61
36	207	ch-38	2,76	0,26	0,98	2,59	0,20	1,21
37	113	ch-39	2,32	0,00	1,68	1,96	0,01	2,03
38	131	ch-40	2,33	0,05	1,62	1,91	0,06	2,03
39	218	ch-41	2,93	0,31	0,76	2,08	0,13	1,79
40	68	ch-42	1,49	0,00	2,51	2,60	0,14	1,26
41	133	ch-43	2,34	0,01	1,66	2,48	1,26	0,26
42	380	ch-44	2,89	0,47	0,65	3,05	0,36	0,59
43	234	ch-45	2,27	0,11	1,62	2,60	1,22	0,18
44	346	ch-46	2,82	0,44	0,74	3,06	0,33	0,61
45	265	ch-47	2,70	0,32	0,99	2,37	0,38	1,25
46	235	ch-48	1,86	0,03	2,11	1,99	0,14	1,87
47	173	ch-49	2,46	0,20	1,35	2,85	0,35	0,80
48	173	ch-50	1,68	0,02	2,30	2,55	0,15	1,30
49	156	ch-51	1,77	0,07	2,17	2,76	0,60	0,65
50	278	ch-52	2,06	0,06	1,88	2,76	0,60	0,65
51	185	ch-53	2,72	0,21	1,08	1,79	0,17	2,04
52	173	ch-55	1,28	0,01	2,71	2,90	0,61	0,49
53	154	ch-56	2,56	0,03	1,41	2,28	0,08	1,64
54	83	ch-57	1,71	0,00	2,29	2,26	0,01	1,73
55	172	ch-58	2,08	0,29	1,63	2,06	0,20	1,73
56	294	ch-59	2,93	0,52	0,55	2,87	0,39	0,75
57	287	ch-60	2,36	0,56	1,08	2,65	0,37	0,98
58	274	ch-61	2,11	1,04	0,85	2,64	0,24	1,12
59	124	ch-62	1,79	0,01	2,20	2,04	0,05	1,91
60	219	ch-63	2,29	0,43	1,28	1,44	0,09	2,47
61	153	ch-64	2,22	0,04	1,74	2,32	0,11	1,58
62	116	ch-65	2,15	0,05	1,80	2,24	0,06	1,70
63	154	ch-66	1,80	0,13	2,07	2,54	0,18	1,28
64	371	ch-67	2,30	0,08	1,62	2,70	0,49	0,81
65	244	ch-68	1,97	0,15	1,88	2,50	0,74	0,76
66	175	ch-69	1,88	0,00	2,12	2,55	0,31	1,14
67	221	ch-70	2,18	0,08	1,74	2,80	0,24	0,96
68	127	ch-71	2,37	0,05	1,58	2,72	0,07	1,20
69	115	ch-72	1,19	0,01	2,80	2,62	0,16	1,22
70	218	ch-73	1,08	0,01	2,91	2,01	0,25	1,74
71	228	ch-74	2,36	0,07	1,58	2,36	0,53	1,11
72	127	ch-75	2,02	0,02	1,96	2,49	0,06	1,46

Tableau 4 : % de temps de la puissance appelée trié selon le débit journalier

Client	litres journalier		7h à 11h			17h à 21h		
			800 Watts	3800 Watts	0 Watts	800 Watts	3800 Watts	0 Watts
1	68	ch-42	1,49	0,00	2,51	2,60	0,14	1,26
2	68	ch-19	1,18	0,07	2,74	1,56	0,03	2,40
3	83	ch-57	1,71	0,00	2,29	2,26	0,01	1,73
4	90	ch-15	1,13	0,00	2,87	2,13	0,01	1,86
5	101	ch-26	3,09	0,02	0,90	1,90	0,01	2,09
6	103	ch-36	1,54	0,00	2,46	2,40	0,07	1,53
7	105	ch-18	1,63	0,00	2,37	1,93	0,05	2,02
8	111	ch-30	1,71	0,00	2,29	2,05	0,02	1,92
9	112	ch-33	0,98	0,00	3,02	1,44	0,03	2,53
10	113	ch-39	2,32	0,00	1,68	1,96	0,01	2,03
11	115	ch-72	1,19	0,01	2,80	2,62	0,16	1,22
12	116	ch-65	2,15	0,05	1,80	2,24	0,06	1,70
13	117	ch-3	1,20	0,06	2,74	2,95	0,22	0,82
14	118	ch-13	1,77	0,00	2,23	2,76	0,10	1,14
15	124	ch-62	1,79	0,01	2,20	2,04	0,05	1,91
16	127	ch-71	2,37	0,05	1,58	2,72	0,07	1,20
17	127	ch-75	2,02	0,02	1,96	2,49	0,06	1,46
18	129	ch-22	1,49	0,02	2,49	2,51	0,12	1,37
19	131	ch-40	2,33	0,05	1,62	1,91	0,06	2,03
20	133	ch-43	2,34	0,01	1,66	2,48	1,26	0,26
21	133	ch-21	2,30	0,02	1,68	2,45	0,13	1,42
22	143	ch-2	3,18	0,07	0,76	2,34	0,02	1,64
23	143	ch-37	2,65	0,20	1,15	1,34	0,05	2,61
24	143	ch-25	2,04	0,00	1,96	3,01	0,11	0,88
25	144	ch-31	1,02	0,00	2,97	1,73	0,06	2,22
26	145	ch-4	3,47	0,09	0,45	1,83	0,01	2,16
27	146	ch-32	1,91	0,00	2,09	2,38	0,12	1,50
28	153	ch-64	2,22	0,04	1,74	2,32	0,11	1,58
29	154	ch-66	1,80	0,13	2,07	2,54	0,18	1,28
30	154	ch-56	2,56	0,03	1,41	2,28	0,08	1,64
31	154	ch-11	2,81	0,45	0,74	2,14	0,14	1,73
32	156	ch-51	1,77	0,07	2,17	2,76	0,60	0,65
33	158	ch-1	2,93	0,17	0,91	1,78	0,06	2,17
34	165	ch-20	2,37	0,41	1,22	1,20	0,12	2,68
35	172	ch-58	2,08	0,29	1,63	2,06	0,20	1,73
36	173	ch-49	2,46	0,20	1,35	2,85	0,35	0,80
37	173	ch-50	1,68	0,02	2,30	2,55	0,15	1,30
38	173	ch-55	1,28	0,01	2,71	2,90	0,61	0,49
39	175	ch-8	1,92	0,01	2,07	2,76	0,35	0,89
40	175	ch-69	1,88	0,00	2,12	2,55	0,31	1,14
41	179	ch-14	1,94	0,05	2,01	3,17	0,28	0,55
42	184	ch-5	1,89	0,00	2,11	2,65	0,22	1,13
43	184	ch-12	2,33	0,01	1,67	2,05	0,01	1,93
44	185	ch-53	2,72	0,21	1,08	1,79	0,17	2,04
45	194	ch-27	3,05	0,22	0,73	2,45	0,13	1,42
46	207	ch-38	2,76	0,26	0,98	2,59	0,20	1,21
47	208	ch-24	1,05	0,03	2,92	2,25	0,54	1,21
48	218	ch-73	1,08	0,01	2,91	2,01	0,25	1,74
49	218	ch-41	2,93	0,31	0,76	2,08	0,13	1,79
50	219	ch-63	2,29	0,43	1,28	1,44	0,09	2,47
51	221	ch-70	2,18	0,08	1,74	2,80	0,24	0,96
52	228	ch-74	2,36	0,07	1,58	2,36	0,53	1,11
53	234	ch-45	2,27	0,11	1,62	2,60	1,22	0,18
54	235	ch-48	1,86	0,03	2,11	1,99	0,14	1,87
55	244	ch-68	1,97	0,15	1,88	2,50	0,74	0,76
56	247	ch-35	2,77	0,17	1,06	2,37	0,49	1,14
57	249	ch-6	2,67	0,24	1,10	2,67	0,52	0,82
58	258	ch-28	2,83	0,83	0,34	2,75	0,19	1,07
59	265	ch-47	2,70	0,32	0,99	2,37	0,38	1,25
60	268	ch-17	2,72	0,43	0,85	2,54	0,45	1,01
61	274	ch-61	2,11	1,04	0,85	2,64	0,24	1,12
62	278	ch-29	2,74	0,35	0,91	2,91	0,38	0,72
63	278	ch-52	2,06	0,06	1,88	2,76	0,60	0,65
64	287	ch-60	2,36	0,56	1,08	2,65	0,37	0,98
65	293	ch-34	3,04	0,37	0,59	2,10	1,13	0,77
66	294	ch-59	2,93	0,52	0,55	2,87	0,39	0,75
67	294	ch-7	2,57	0,30	1,13	3,03	0,64	0,33
68	307	ch-10	2,06	0,38	1,56	2,63	1,05	0,32
69	346	ch-46	2,82	0,44	0,74	3,06	0,33	0,61
70	371	ch-67	2,30	0,08	1,62	2,70	0,49	0,81
71	380	ch-44	2,89	0,47	0,65	3,05	0,36	0,59
72	446	ch-9	3,09	0,42	0,49	1,53	1,38	1,10

Tableau 5 : Résultats des ménages selon le triage de litres journalier par personne entre 7h et 11h am

N°		Nombre personnes	litres journalier	kWh journalier	litres /personne	kWh / litre journalier	Pourcentage
1	ch-15	4	89.6	7.46	22.4	0.0832	1%
2	ch-57	3	83.3	7.30	27.8	0.0876	3%
3	ch-25	5	143.3	9.91	28.7	0.0692	4%
4	ch-3	4	117.3	8.76	29.3	0.0747	6%
5	ch-13	4	118.0	7.90	29.5	0.0669	7%
6	ch-22	4	128.6	9.22	32.2	0.0717	8%
7	ch-40	4	130.7	9.94	32.7	0.0761	10%
8	ch-43	4	132.6	9.28	33.1	0.0700	11%
9	ch-21	4	132.8	10.52	33.2	0.0792	13%
10	ch-42	2	67.6	5.87	33.8	0.0868	14%
11	ch-19	2	68.2	6.32	34.1	0.0928	15%
12	ch-69	5	175.3	11.68	35.1	0.0666	17%
13	ch-64	4	153.2	10.89	38.3	0.0711	18%
14	ch-72	3	114.9	8.45	38.3	0.0735	19%
15	ch-56	4	153.7	10.64	38.4	0.0692	21%
16	ch-20	4	165.3	11.20	41.3	0.0678	22%
17	ch-50	4	172.9	11.69	43.2	0.0676	24%
18	ch-55	4	173.0	9.21	43.3	0.0532	25%
19	ch-5	4	183.8	13.40	46.0	0.0729	26%
20	ch-53	4	185.1	12.69	46.3	0.0685	28%
21	ch-27	4	193.7	13.17	48.4	0.0680	29%
22	ch-32	3	145.6	10.59	48.5	0.0728	31%
23	ch-26	2	101.3	8.06	50.7	0.0795	32%
24	ch-66	3	153.5	10.79	51.2	0.0703	33%
25	ch-36	2	103.0	8.12	51.5	0.0788	35%
26	ch-28	5	258.4	17.66	51.7	0.0683	36%
27	ch-51	3	155.9	11.67	52.0	0.0749	38%
28	ch-18	2	105.4	8.04	52.7	0.0763	39%
29	ch-30	2	110.8	8.30	55.4	0.0750	40%
30	ch-33	2	111.9	8.30	55.9	0.0742	42%
31	ch-39	2	113.4	8.61	56.7	0.0759	43%
32	ch-49	3	172.8	12.14	57.6	0.0703	44%
33	ch-65	2	116.1	9.03	58.0	0.0778	46%
34	ch-8	3	175.2	11.81	58.4	0.0674	47%
35	ch-48	4	235.0	15.90	58.7	0.0677	49%
36	ch-14	3	179.1	12.06	59.7	0.0674	50%
37	ch-68	4	244.3	15.14	61.1	0.0620	51%
38	ch-10	5	307.1	19.39	61.4	0.0631	53%
39	ch-35	4	246.9	16.41	61.7	0.0665	54%
40	ch-62	2	124.1	9.24	62.1	0.0745	56%
41	ch-6	4	248.8	16.14	62.2	0.0649	57%
42	ch-71	2	126.8	9.08	63.4	0.0716	58%
43	ch-75	2	127.4	8.96	63.7	0.0703	60%
44	ch-47	4	264.8	17.02	66.2	0.0643	61%
45	ch-38	3	207.5	13.39	69.2	0.0645	63%
46	ch-46	5	346.0	22.82	69.2	0.0659	64%
47	ch-29	4	278.1	16.81	69.5	0.0605	65%
48	ch-52	4	278.2	17.28	69.5	0.0621	67%
49	ch-2	2	142.7	9.81	71.4	0.0688	68%
50	ch-37	2	142.8	10.23	71.4	0.0716	69%
51	ch-60	4	287.3	17.54	71.8	0.0610	71%
52	ch-4	2	145.4	10.07	72.7	0.0692	72%
53	ch-41	3	218.5	14.37	72.8	0.0658	74%
54	ch-34	4	292.7	18.37	73.2	0.0628	75%
55	ch-59	4	293.6	17.84	73.4	0.0608	76%
56	ch-7	4	293.8	18.62	73.5	0.0634	78%
57	ch-70	3	220.6	14.79	73.5	0.0670	79%
58	ch-67	5	370.6	21.77	74.1	0.0587	81%
59	ch-44	5	380.4	24.14	76.1	0.0634	82%
60	ch-11	2	154.5	12.31	77.2	0.0797	83%
61	ch-1	2	157.7	11.18	78.9	0.0709	85%
62	ch-58	2	171.5	12.29	85.8	0.0717	86%
63	ch-9	5	446.3	26.79	89.3	0.0600	88%
64	ch-17	3	268.4	16.81	89.5	0.0626	89%
65	ch-61	3	274.1	18.88	91.4	0.0689	90%
66	ch-12	2	184.5	12.26	92.2	0.0664	92%
67	ch-73	2	218.3	15.01	109.2	0.0688	93%
68	ch-63	2	219.2	14.27	109.6	0.0651	94%
69	ch-74	2	228.3	14.91	114.2	0.0653	96%
70	ch-45	2	234.1	15.47	117.1	0.0661	97%
71	ch-31	1	143.9	10.67	143.9	0.0741	99%
72	ch-24	1	208.5	13.82	208.5	0.0663	100%

Tableau 6 : Résultats des ménages selon le triage de litres journaliers par ménage

N°		Nombre personnes	litres journalier	kWh journalier	litres /personne	kWh / litre journalier	Pourcentage
1	ch-42	2	67.6	5.87	33.8	0.0868	1%
2	ch-19	2	68.2	6.32	34.1	0.0928	3%
3	ch-57	3	83.3	7.30	27.8	0.0876	4%
4	ch-15	4	89.6	7.46	22.4	0.0832	6%
5	ch-26	2	101.3	8.06	50.7	0.0795	7%
6	ch-36	2	103.0	8.12	51.5	0.0788	8%
7	ch-18	2	105.4	8.04	52.7	0.0763	10%
8	ch-30	2	110.8	8.30	55.4	0.0750	11%
9	ch-33	2	111.9	8.30	55.9	0.0742	13%
10	ch-39	2	113.4	8.61	56.7	0.0759	14%
11	ch-72	3	114.9	8.45	38.3	0.0735	15%
12	ch-65	2	116.1	9.03	58.0	0.0778	17%
13	ch-3	4	117.3	8.76	29.3	0.0747	18%
14	ch-13	4	118.0	7.90	29.5	0.0669	19%
15	ch-62	2	124.1	9.24	62.1	0.0745	21%
16	ch-71	2	126.8	9.08	63.4	0.0716	22%
17	ch-75	2	127.4	8.96	63.7	0.0703	24%
18	ch-22	4	128.6	9.22	32.2	0.0717	25%
19	ch-40	4	130.7	9.94	32.7	0.0761	26%
20	ch-43	4	132.6	9.28	33.1	0.0700	28%
21	ch-21	4	132.8	10.52	33.2	0.0792	29%
22	ch-2	2	142.7	9.81	71.4	0.0688	31%
23	ch-37	2	142.8	10.23	71.4	0.0716	32%
24	ch-25	5	143.3	9.91	28.7	0.0692	33%
25	ch-31	1	143.9	10.67	143.9	0.0741	35%
26	ch-4	2	145.4	10.07	72.7	0.0692	36%
27	ch-32	3	145.6	10.59	48.5	0.0728	38%
28	ch-64	4	153.2	10.89	38.3	0.0711	39%
29	ch-66	3	153.5	10.79	51.2	0.0703	40%
30	ch-56	4	153.7	10.64	38.4	0.0692	42%
31	ch-11	2	154.5	12.31	77.2	0.0797	43%
32	ch-51	3	155.9	11.67	52.0	0.0749	44%
33	ch-1	2	157.7	11.18	78.9	0.0709	46%
34	ch-20	4	165.3	11.20	41.3	0.0678	47%
35	ch-58	2	171.5	12.29	85.8	0.0717	49%
36	ch-49	3	172.8	12.14	57.6	0.0703	50%
37	ch-50	4	172.9	11.69	43.2	0.0676	51%
38	ch-55	4	173.0	9.21	43.3	0.0532	53%
39	ch-8	3	175.2	11.81	58.4	0.0674	54%
40	ch-69	5	175.3	11.68	35.1	0.0666	56%
41	ch-14	3	179.1	12.06	59.7	0.0674	57%
42	ch-5	4	183.8	13.40	46.0	0.0729	58%
43	ch-12	2	184.5	12.26	92.2	0.0664	60%
44	ch-53	4	185.1	12.69	46.3	0.0685	61%
45	ch-27	4	193.7	13.17	48.4	0.0680	63%
46	ch-38	3	207.5	13.39	69.2	0.0645	64%
47	ch-24	1	208.5	13.82	208.5	0.0663	65%
48	ch-73	2	218.3	15.01	109.2	0.0688	67%
49	ch-41	3	218.5	14.37	72.8	0.0658	68%
50	ch-63	2	219.2	14.27	109.6	0.0651	69%
51	ch-70	3	220.6	14.79	73.5	0.0670	71%
52	ch-74	2	228.3	14.91	114.2	0.0653	72%
53	ch-45	2	234.1	15.47	117.1	0.0661	74%
54	ch-48	4	235.0	15.90	58.7	0.0677	75%
55	ch-68	4	244.3	15.14	61.1	0.0620	76%
56	ch-35	4	246.9	16.41	61.7	0.0665	78%
57	ch-6	4	248.8	16.14	62.2	0.0649	79%
58	ch-28	5	258.4	17.66	51.7	0.0683	81%
59	ch-47	4	264.8	17.02	66.2	0.0643	82%
60	ch-17	3	268.4	16.81	89.5	0.0626	83%
61	ch-61	3	274.1	18.88	91.4	0.0689	85%
62	ch-29	4	278.1	16.81	69.5	0.0605	86%
63	ch-52	4	278.2	17.28	69.5	0.0621	88%
64	ch-60	4	287.3	17.54	71.8	0.0610	89%
65	ch-34	4	292.7	18.37	73.2	0.0628	90%
66	ch-59	4	293.6	17.84	73.4	0.0608	92%
67	ch-7	4	293.8	18.62	73.5	0.0634	93%
68	ch-10	5	307.1	19.39	61.4	0.0631	94%
69	ch-46	5	346.0	22.82	69.2	0.0659	96%
70	ch-67	5	370.6	21.77	74.1	0.0587	97%
71	ch-44	5	380.4	24.14	76.1	0.0634	99%
72	ch-9	5	446.3	26.79	89.3	0.0600	100%

La Figure 16 représente la consommation journalière d'eau chaude par personne en fonction du nombre de personnes dans le ménage. On y remarque que la consommation journalière moyenne d'un ménage peut atteindre jusqu'à 450 litres par jour.

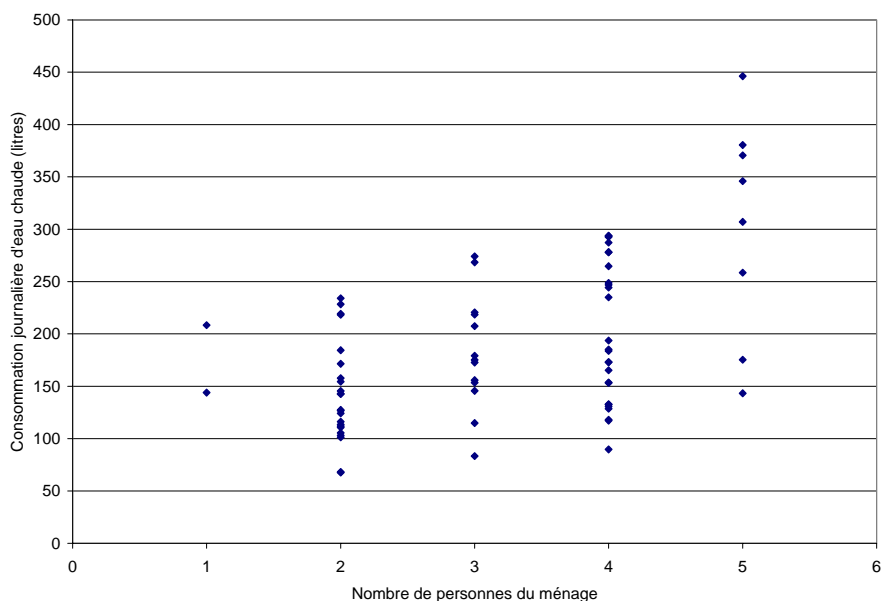


Figure 16 : Consommation journalière moyenne d'eau chaude du ménage selon le nombre de personnes du ménage

Le Tableau 7 montre la répartition des ménages. En moyenne, il existe 3,2 personnes par ménage ce qui est plus représentatif du ménage de 4 personnes utilisé par Perlman dans les tables de l'ASHRAE.

Tableau 7 : Caractérisation des ménages

Ménage	Nombre
1 personne	2
2 personnes	23
3 personnes	13
4 personnes	26
5 personnes	8
Total	72

3. Appel de puissance des chauffe-eau

La Figure 17 montre le schéma électrique du chauffe-eau à cinq éléments. Dans le cas présent, le chauffe-eau a opéré uniquement en mode trois (3) éléments en maintenant le relais dans un seul mode.

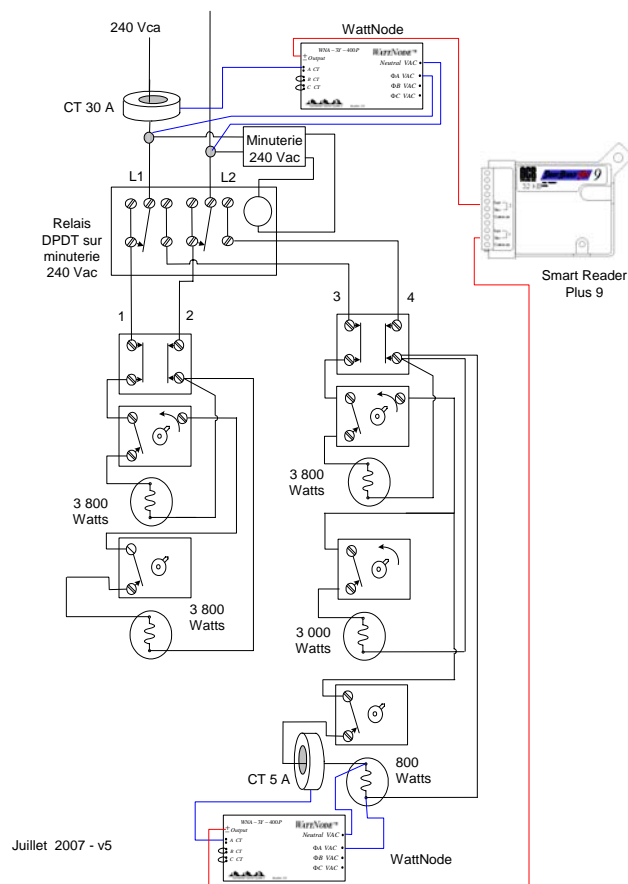


Figure 17 : Circuit de permutation maintenu en mode trois (3) éléments

La Figure 18 résume l'appel de puissance moyen obtenu durant la saison 2007 / 2008. La fréquence d'échantillonnage est cinq (5) minutes, cette valeur représentant la moyenne de l'intervalle et non pas une valeur instantanée.

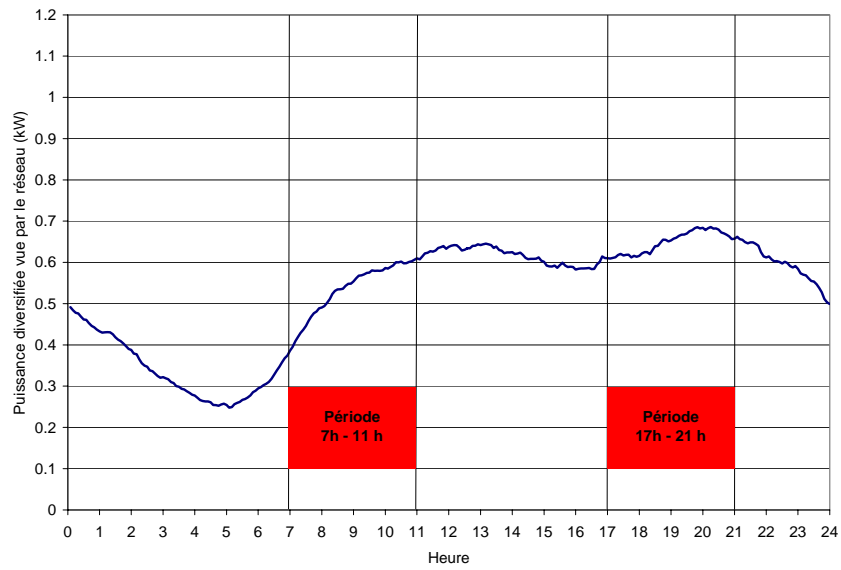


Figure 18 : Appel de puissance diversifié mode trois (3) éléments (kW)

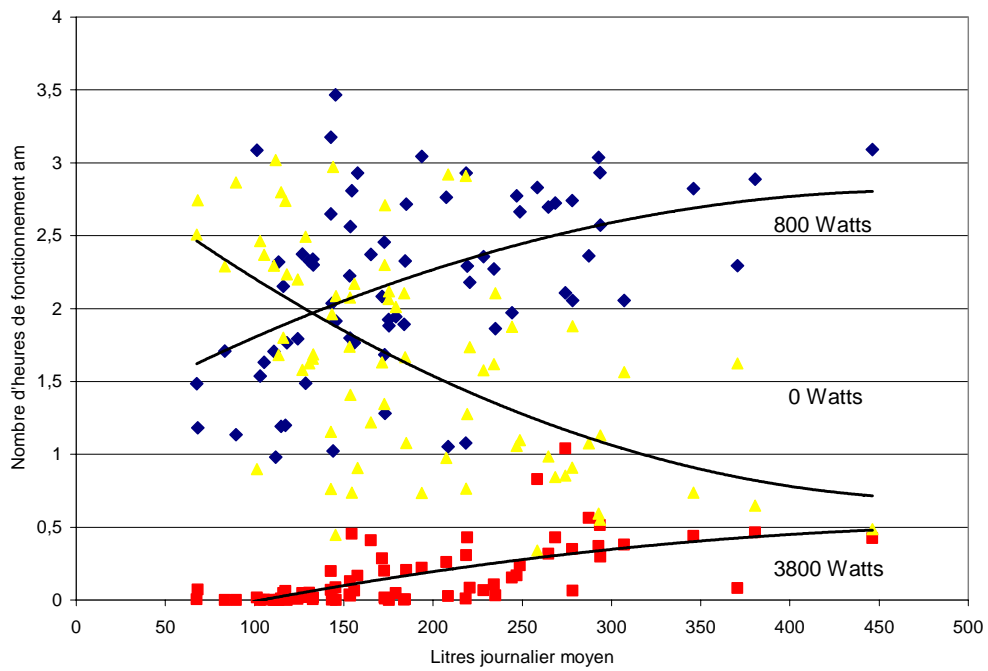


Figure 19 : Fonctionnement des éléments durant la période de 7h à 11 h

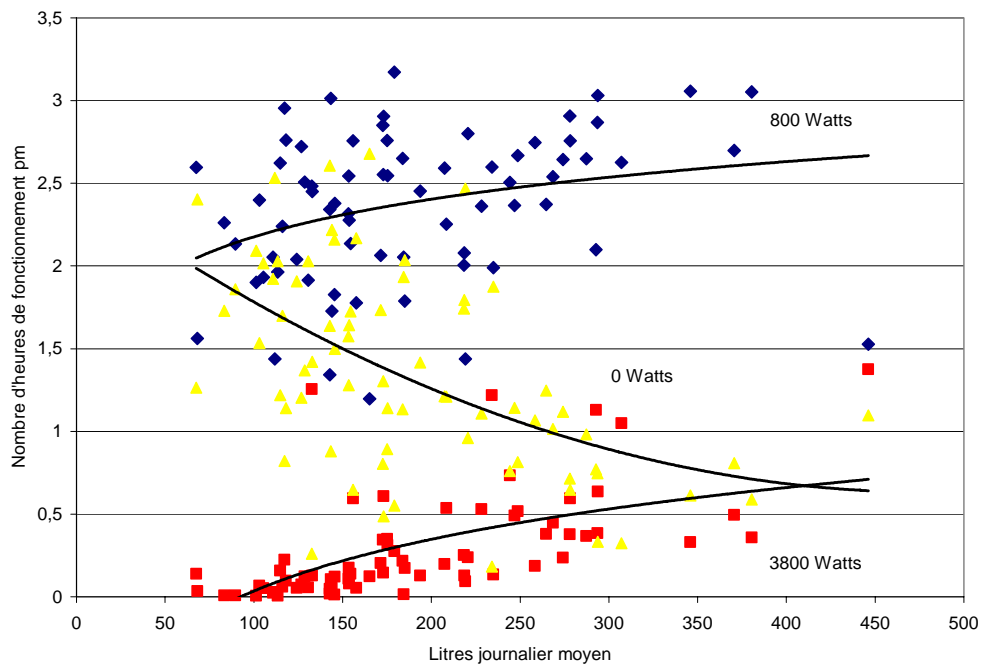


Figure 20 : Fonctionnement des éléments durant la période de 17h à 21 h

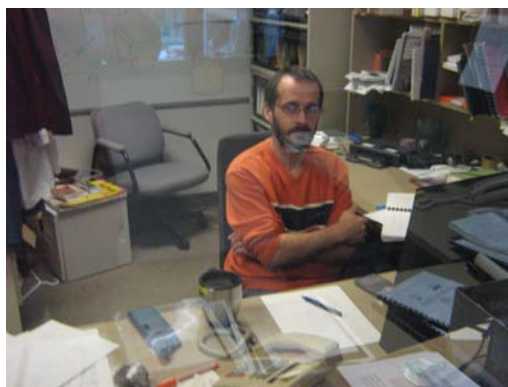
Les Figures 19 et 20 représentent le nombre d'heures de fonctionnement de la puissance appelée durant les deux périodes critiques de la journée.

4. Fiabilité du chauffe-eau et satisfaction

4.1 Satisfaction des clients

Un sondage a été effectué auprès de la clientèle à la fin de l'expérience pilote. Le sondage se retrouve en Annexe 2. Au moment de la rédaction de ce rapport, le démantèlement n'est pas terminé dans la région de Trois-Rivières. Toutefois, à la question posée à savoir :

« Êtes-vous satisfait du chauffe-eau ? », tous ont répondu oui jusqu'à date soit approximativement 45 ménages. C'est donc dire que le chauffe-eau à trois (3) éléments permet de rencontrer les besoins en chaude des clients et ce même pour des familles de 5 personnes. Voici d'ailleurs un commentaire d'un chercheur du LTE, participant au projet pilote depuis trois ans :



« J'ai trois adolescents à la maison et je n'ai rien à dire sur ce nouveau concept de chauffe-eau qui rencontre les besoins de ma famille »

4.2 Satisfaction de l'entrepreneur

Dans le cadre du projet pilote, un sondage a été mené auprès de la firme Confort Expert Inc. Cet entrepreneur Confort Expert inc.⁴ est associé à HydroSolutions, le plus important fournisseur spécialisé de solutions de chauffage et climatisation au Québec. Il s'occupe de l'installation des chauffe-eau dans la région de Montréal Métropolitain depuis le début d'Hydro-Solution et ce, alors qu'Hydro-Québec était propriétaire de cette filiale. Voici donc le résultat de ce sondage :

⁴ <http://www.confortexpert.qc.ca>

« -----Message d'origine-----

De : laperriere.andre@lte.ireq.ca [mailto:laperriere.andre@lte.ireq.ca]

Envoyé : 19 novembre 2008 12:15

A : Pierre-Marc Lamoureux

Objet : Chauffe-eau 3 éléments - sondage

Pierre-Marc Lamoureux

Directeur des opérations

Confort Expert Inc

Téléphone: (514) 640-7711 ext 335

Télécopieur: (514) 640-7180

Bonjour ,

dans le cadre du projet pilote, nous aimerions savoir compte tenu que vous avez installé une quarantaine de chauffe-eau et suivi l'expérience pilote durant deux (2) ans ce que vous en pensez de ce chauffe-eau à trois (3) éléments :

1) **Question 1:** Avez-vous trouvé le chauffe-eau fiable ?

Réponse :[Pierre-Marc Lamoureux] oui

2) **Question 2 :** Le fait d'avoir un élément de 800 Watts augmente-t-il la fiabilité du chauffe-eau puisque le courant est faible (de l'ordre de 3 ampères) ?

Réponse :[Pierre-Marc Lamoureux] oui

3) **Question 3 :** Ce chauffe-eau selon vous est-il plus fiable selon votre expérience de deux (2) ans que les chauffe-eau conventionnels à deux (2) éléments ? Si oui, pourquoi selon vous ?

Réponse :[Pierre-Marc Lamoureux] oui moins grande sollicitation des éléments et du thermostat qui sont les éléments faibles

4) **Question 4 :** Existerait-il un ou des avantages selon vous à ce que Confort Expert installe ce type de chauffe-eau à trois (3) éléments ? Si oui, lesquels ?

Réponse :[Pierre-Marc Lamoureux] à part de continuer à prouver notre implication dans les nouveautés, et dans l'environnement non

5) **Question 5 :** Globalement, êtes-vous satisfait de ce chauffe-eau à trois (3) éléments ?

Réponse :[Pierre-Marc Lamoureux] oui

6) **Question 6** : Le recommanderiez-vous à d'autres entrepreneurs ?

Réponse :[Pierre-Marc Lamoureux] oui

Merci de remplir ce questionnaire et bonne journée

André Laperrière, ing, M.Sc.A.
Expertise Utilisation de l'énergie »

Somme toute, l'entrepreneur confirme que la fiabilité du chauffe-eau est plus élevée que la technologie conventionnelle à deux (2) éléments électriques puisque l'élément du bas de 800 Watts est celui qui est le plus sollicité. Ainsi, l'énergie est dissipée sur une plus longue période de temps et à une plus faible puissance avec le chauffe-eau à trois (3) éléments qu'un chauffe-eau à deux (2) éléments :

$$\text{Équation 6 : } E = \int_0^{24H} P dt$$

Ainsi, à titre d'exemple :

14,5 kWh = 4,5 kW x 3,2 heures - chauffe-eau à deux (2) éléments

= 0,8 kW x 18,1 heures - chauffe-eau à trois (3) éléments

4,5 kW implique 18,8 ampères - chauffe-eau à deux (2) éléments

0,8 kW implique 3,3 ampères - chauffe-eau à trois (3) éléments

Il est bien évident qu'un courant de 3,3 ampères sollicite moins des composantes électriques qu'un courant de 18,8 ampères, soit approximativement cinq (5) fois moins.

4.3 Construction du chauffe-eau

La Figure 21 montre visuellement à quoi ressemblerait un chauffe-eau à trois éléments.

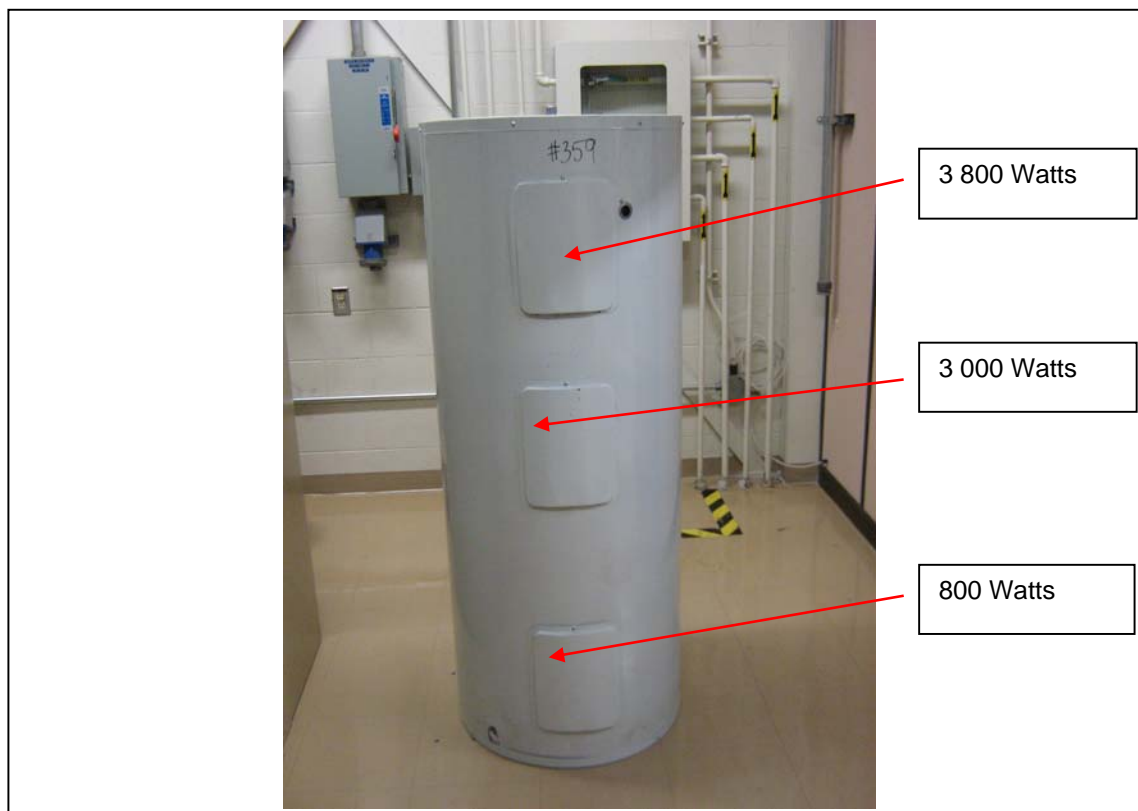


Figure 21 : Chauffe-eau à trois (3) éléments de 270 litres fabriqué par la compagnie Giant

Lors du démarrage à froid, c'est l'élément du haut de 3 800 watts qui est activé. Une fois la demande en eau chaude rencontrée au-dessus de cet élément, le thermostat bascule vers les deux éléments inférieurs (3 000 Watts et 800 Watts). Les deux éléments inférieurs peuvent donc fonctionner simultanément et chaque élément est contrôlé par son propre thermostat. Le schéma électrique a été montré précédemment. En régime permanent, c'est donc l'élément de 800 Watts qui est en fonction la majorité du temps, permettant une puissance diversifiée avec ce troisième élément sous la puissance diversifiée des chauffe-eau à deux éléments (2).

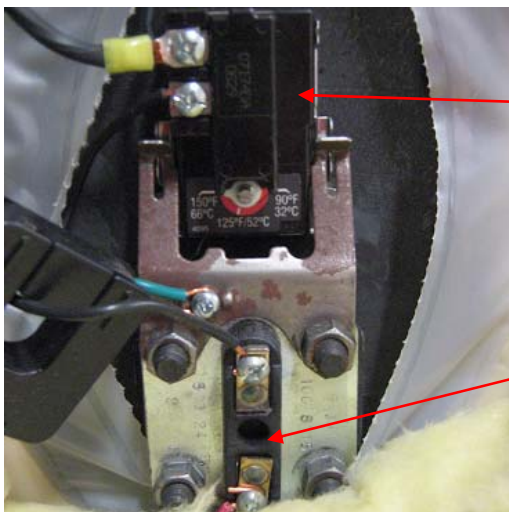
La Figure 22 montre la configuration de l'élément de 800 Watts. A titre comparatif, une règle de 30 cm (12 pouces) y est juxtaposée. La Figure 16 compare la dimension de l'élément de 800 Watts avec celui de 3 800 Watts. On remarque que la dimension de l'élément est approximativement semblable mais qu'évidemment la densité de puissance est dans un ratio de l'ordre de 5 à 1.



Figure 22 : Élément de 800 Watts utilisé durant deux (2) ans vu sous deux angles



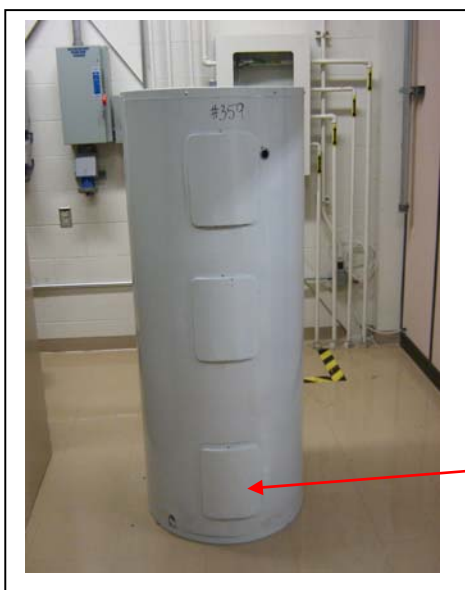
Figure 23 : Élément de 800 Watts (en haut) utilisé durant deux (2) ans versus un élément neuf de 3 800 Watts en bas



Thermostat

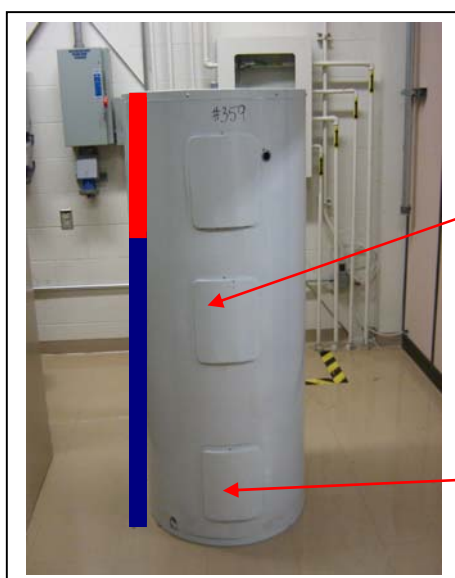
Élément chauffant de 800 Watts

Figure 24 : Élément de 800 Watts et thermostat



800 Watts

Figure 25 : Puissance appelée de 800 Watts selon le volume d'eau froide



3 800 Watts

800 Watts

Figure 26 : Puissance appelée de 3 800 Watts selon le volume d'eau froide

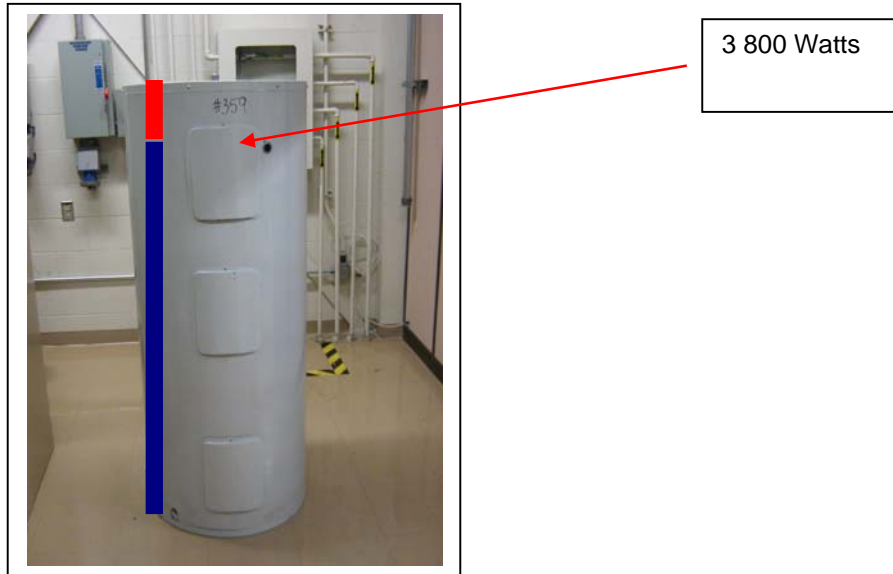


Figure 27 : Puissance appelée de 3 800 Watts selon le volume d'eau froide

Les Figures 25, 26 et 27 présentent le fonctionnement du chauffe-eau en fonction de la position du volume d'eau froide dans le chauffe-eau. Pour de faibles consommations d'eau, uniquement l'élément de 800 Watts est activé, c'est-à-dire la Figure 25. Pour des consommations intermédiaires (Figure 26), ce sera l'élément inférieur et l'élément intermédiaire qui pourraient fonctionner simultanément fournissant 3 800 Watts.

5. Efficacité énergétique du chauffe-eau

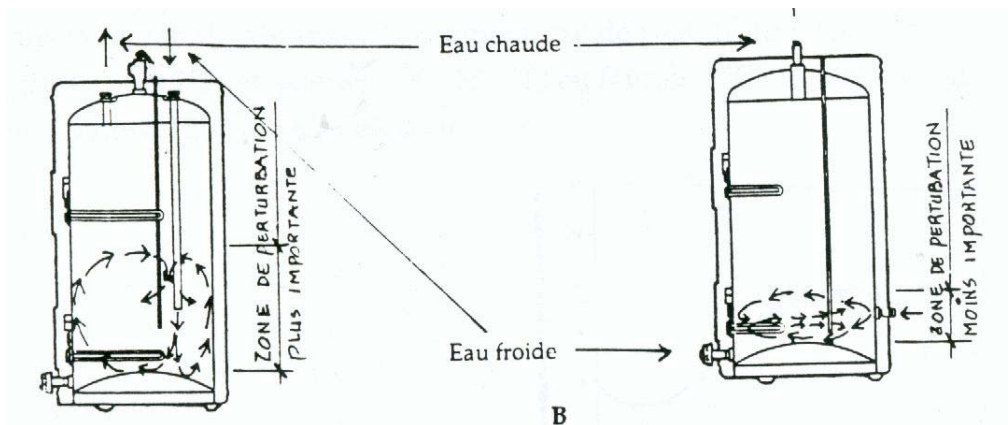
Le Règlement sur l'efficacité énergétique spécifie la perte en attente des chauffe-eau selon la norme CSA-C191.⁵ Or, Hydro-Québec et le chargé de projet du projet actuel d'innovation siègent sur le comité de la norme CSA :

Chauffe-eau électriques

CLASSE DE MATÉRIEL	PERTE THERMIQUE MAXIMALE EN MODE D'ATTENTE
Septembre 2004	
(W)	
Entrée inférieure *	
50 à 270 litres (11 à 59 gallons impériaux)	40 + (0,20V)
> 270 à 454 litres (60 à 100 gallons Impériaux)	(0,472V) – 33,5
Entrée supérieure	
50 à 270 litres (11 à 59 gallons Impériaux)	35 + (0,20V)
> 270 à 454 litres (60 à 100 gallons Impériaux)	(0,472V) – 38,5
V = capacité de stockage nominale en litres. W = watts Perte thermique est définie selon la procédure de la CSA. * Tuyau d'alimentation externe au réservoir dont la connexion est située près du fond.	

On y remarque qu'il existe une différence entre la perte en attente selon qu'il s'agisse d'une entrée d'eau par le haut ou par le bas. Un crédit de 5 Watts est donné. Ceci s'explique puisqu'une entrée d'eau par le bas permet de maintenir en moyenne l'eau plus froide.

⁵ <http://www.oeo.nrcan.gc.ca/reglement/produit/chauffe-eau-electriques.cfm?text=N&printview=N>



Entrée d'eau froide par le haut

Entrée d'eau froide par le bas

Figure 28 : Comparaison entrée eau froide par le bas versus entrée d'eau froide par le haut⁶

Voici maintenant des données provenant d'un rapport australien de l'an 2000. Ceci permet de comparer les efficacités des chauffe-eau de divers pays.

⁶ Le chauffe-eau électrique résidentiel et l'efficacité énergétique, CMMTQ, février 1993

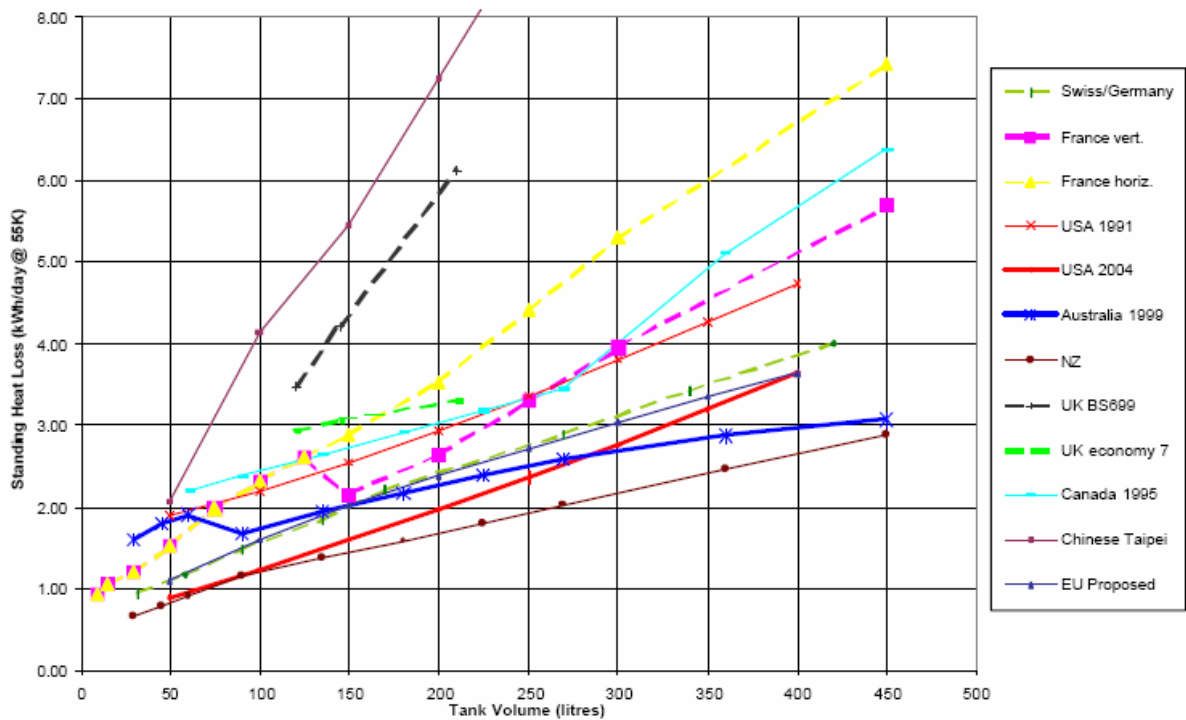


Figure 29 : Comparaison des MEPS (Minimum Energy Performance Standard) en l'an 2000 ⁷

En 1995, les pertes en attente pour un chauffe-eau de 270 litres étaient de 115 Watts. Aujourd'hui, elles sont de : $Q_{\text{pertes}} = 24 (40 + 0,2 V)$ où $V = 270$ litres, la capacité du chauffe-eau. On obtient 94 Watts. C'est donc dire une réduction de 21 Watts.

1995 : 115 Watts

2008 : 94 Watts

L'efficacité énergétique des chauffe-eau en 1995 était calculée comme suit :

⁷ Harrington Lloyd et Paul Ryan ; International Review of minimum energy performance standards for electric resistance storage water heaters ; présenté au National Appliance and Equipment Energy Efficiency Committee et The Australins Greenhouse office; Draft Report, 28 juillet 2008.

«

$$\begin{aligned} \text{Watts} &\leq 61 + 0.20 \times V && \text{for } V \text{ from 50 to 270 litres} \\ \text{Watts} &\leq 0.472 \times V - 12.5 && \text{for } V \text{ from 271 to 450 litres} \end{aligned}$$

These requirements are converted into standing heat loss in Table 4.

Table 4: Canadian MEPS Requirements

Storage Capacity (Litres)	Nominal Delivery Capacity (Litres)	Maximum Heat Loss (Watts)	Heat Loss (kWh/day)
60	50	73	1.75
90	80	79	1.90
135	120	88	2.11
180	160	97	2.33
225	200	106	2.54
270	250	115	2.76
360	315	170	4.08
450	400	212	5.10

Notes: Nominal Delivery Capacity is estimated from similar water heaters. Heat loss values quoted above are based on Canadian test conditions.

» 8

La perte en attente des chauffe-eau a donc diminué au fil des ans si on considère que dans les années 1990, elle atteignait des valeurs supérieures à 200 Watts. Les pertes en attente du produit final devront être évaluées en laboratoire selon CSA-C191. Le règlement sur l'efficacité énergétique exige que tous les chauffe-eau vendus rencontrent la norme CSA-C191.⁹

Tableau 8 : Pertes en attente au fil des ans¹⁰

Année	Essais Warnock Hersey Ltée		CSA-C191
1990	Bradford 60	216,7 watts	115 watts
	State 60	201,9 watts	
	Giant 60 "cascades"	117,6 watts	
	GSW 60 "cascades"	115,1 watts	
1994			115 watts
2008			94 watts

⁸ Harrington Lloyd et Paul Ryan, précité.

⁹ CSA-C191 « Norme fonctionnelle sur les chauffe-eau électriques à accumulation »

¹⁰ Warnock Hersey; Évaluation de la qualité des chauffe-eau électriques; Denis Patenaude, ing. et André Forcier, ing., présenté à M. Jean Moquin de HQ, projet 50187-C7-124600, 1990

6. Conclusions de l'étude

Les essais effectués durant la saison 2007 / 2008 en mode trois (3) éléments uniquement démontrent que :

- 1) Les clients sont satisfaits du chauffe-eau.
- 2) L'entrepreneur Confort Expert observe une fiabilité plus élevée de ce chauffe-eau que les chauffe-eau conventionnels.
- 3) Une réduction de l'appel diversifié du parc de chauffe-eau.
- 4) Des informations additionnelles sont également fournies en annexes en lien avec le présent rapport.

Tableau 9 : Puissance diversifiée du chauffe-eau trois (3) éléments

Période	Puissance maximale (kW)		Réduction
	Deux (2) éléments	Trois (3) éléments 2006 / 2007	
7h - 11h	0.85	0.64	25 %
17h - 21h	0.94	0.78	17 %

Période	Puissance maximale (kW)		Réduction
	Deux (2) éléments	Trois (3) éléments 2007 / 2008	
7h - 11h	0.85	0.60	29 %
17h - 21h	0.94	0.68	28 %

Note: La valeur d'appel de puissance de 2006/2007 du chauffe-eau à deux (2) éléments est utilisée en 2007 / 2008 comme base de comparaison.

En 2007 / 2008, la réduction d'appel de puissance diversifiée serait de 250 Watts le matin et de 260 Watts l'après-midi. En conclusion, d'utiliser une réduction nominale de 200 Watts par chauffe-eau pour établir la rentabilité du projet s'avère tout à fait réaliste. La prochaine étape consistera à obtenir une tête de série du prototype final commercial pour essais final en laboratoire (essais de diffusion, pertes en attente,...) selon CSA C191. La direction Hydro-Québec Distribution devra être activement impliquée pour la phase du programme commercial. Somme toute, l'efficacité énergétique devrait inclure non seulement l'aspect énergie (kWh) mais également l'aspect puissance (kW)

Annexe 1 : Gestion de la demande

Selon une étude de Market development group, le future réside dans le off-peak. ¹¹ Toutefois, ce type d'étude ne tient pas compte de l'appel de puissance lors des reprises après arrêt. Somme toute, il n'y a pas d'économique si la reprise après arrêt n'est pas diversifiée. Le chauffe-eau à trois (3) éléments permet donc de réduire l'appel de puissance mais de manière simplifiée.

Quantifying Cooperative Value

As cooperatives calculate and communicate the homeowner economics of electric water heating, they should take the additional step to quantify the value of this load to the cooperative as well. Consider the following questions:

1. What is the cooperative's aggregated kilowatt hour (kWh) and kilowatt (kW) load and the net revenue impact of existing electric water heater saturation without load management?

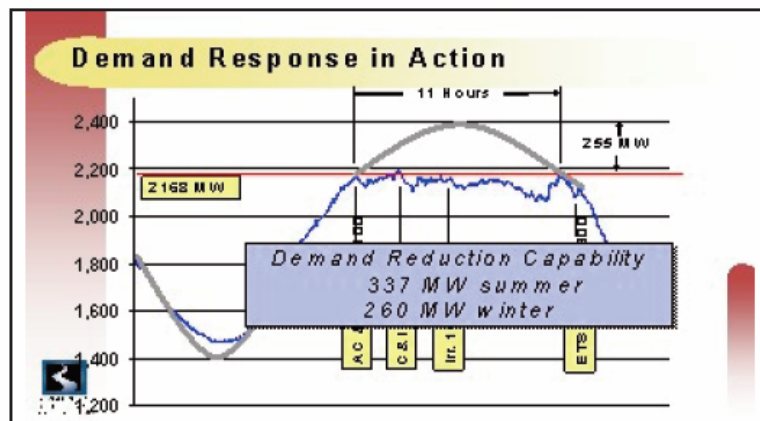


Figure 1: Demand Response in Action, Great River Energy

¹¹ The Future of Residential Electric Water Heating is Off-Peak, Ed Thomas et Katherine Johnson, Market Development Group, juillet 2007

http://www.marketdevelop.com/docs/white_waterheater6-20-07.pdf

Annexe 2 : Sondage du projet pilote

Cet annexe inclut le sondage effectué auprès des clients à la fin de l'expérience pilote lors du démantèlement du parc de chauffe-eau.

Hydro-Québec – Projet pilote nouveaux chauffe-eau Questionnaire sur les habitudes de consommation – V2

Octobre 2008
Version 2
Version finale

INTRODUCTION

Dans le cadre du projet, j'ai maintenant quelques questions à vous poser sur les habitudes de consommation d'eau chaude de votre foyer ainsi que le nouveau chauffe-eau.

Le tout prend 10 minutes maximum.

Date : _____

NOM

ADRESSE :

QUESTION :

A.1) Êtes-vous satisfait du chauffe-eau ?

Oui.....	1
Non	2
NSP.....	9

A.2) Avez-vous remarqué une différence entre les deux années i.e 2006/2007 et 2007/2008

Oui..... 1
Non 2
NSP 9

A.3) Si on vous disait qu'un nouveau chauffe-eau réduit de 20 % l'effet qu'il a sur la pointe d'Hydro-Québec (lorsque le réseau d'Hydro-Québec est en forte demande) que feriez-vous ?

- 1) Je l'achèterais en autant qu'il ne me coûte pas plus cher.
- 2) Je l'achèterais même s'il coûte plus cher si c'est bon pour l'environnement
 - a. Je serais disposé à payer jusqu'à _____ \$ de plus.
- 3) NSP

A.4) Combien de personnes dans votre foyer ont ?

6 ans ou moins : _____
7 à 12 ans : _____
13 à 17 ans : _____
18 ans ou plus : _____

A.5) Combien de personnes au total occupent la maison ? _____

A.6) Quelle est votre principale occupation ?

Travaille à temps plein.....1
Travaille à temps partiel.....2
Retraité.....3
En recherche d'emploi.....4
Étudiant.....5
Ou à la maison.....6

Autre : _____

1. Lave-vaisselle (suite)

Q.1.4 Est-ce qu'à la maison vous rincez la vaisselle avant de la mettre au lave-vaisselle ?...LIRE...

LIRE – 1 CHOIX

- Toujours..... 1
Souvent..... 2
Parfois..... 3
Jamais..... 4 → Q.1.6

NE PAS LIRE

- Autre 7 → Q.1.6
NSP 9 → Q.1.6

Q.1.5 Habituellement, rincez-vous votre vaisselle à ...LIRE...

LIRE – 1 CHOIX

- À l'eau chaude 1
À l'eau tiède 2
À l'eau froide 3

NE PAS LIRE

- Variable/ne saurait dire 4
NSP 9

Q.1.6 En moyenne, combien de fois par semaine utilisez-vous votre lave-vaisselle?

- Nombre de fois _____
NSP 99

2. Laveuse à linge

Parlons maintenant de laveuse à linge.

Q.2.1 Utilisez-vous une laveuse à linge à la maison ?

1 CHOIX

- Oui 1
Non 2 → Q.3.1
NSP 9 → Q.3.1

Q.2.2 Quel âge a votre laveuse à linge ?

- Nombre d'années _ _ → Q.2.4
NSP 99

Q.2.3 Diriez-vous qu'elle a probablement...LIRE...

LIRE – 1 CHOIX

- 5 ans ou moins..... 1
Entre 6 et 10 ans..... 2
Entre 11 et 15 ans..... 3
Plus de 15 ans 4
NSP 9

2. Laveuse à linge (suite)

Q.2.4 S'agit-il d'une laveuse à chargement frontal ou à chargement vertical ?

1 CHOIX

Chargement frontal 1
Chargement vertical 2
NSP 9

Q.2.5 S'agit-il d'une laveuse à linge de grosseur standard ou d'une mini?

LIRE AU BESOIN – 1 CHOIX

Standard (supérieur ou égale à 45 litres/ + de 10 gallons)..... 1
Mini (compacte – moins de 45 litres/10 gallons ou moins)..... 2
NSP 9

Q.2.6 De façon générale, à quelle température est votre eau de lavage ? Est-ce de l'eau...LIRE... ?

LIRE – 1 CHOIX

Chaude 1
Tiède 2
Froide 3
NSP 9

2. Laveuse à linge (suite)

Q.2.7 De façon générale, à quelle température est votre eau de rinçage ? Est-ce de l'eau...LIRE... ?

LIRE – 1 CHOIX

Chaude 1
Tiède..... 2
Froide..... 3
NSP 9

Q.2.8 Au cours d'une semaine typique, combien de brassées de lavage faites-vous ?

AU BESOIN : en moyenne

Nombre de brassées ____
NSP 99

3. Douches et bains

Passons à un autre sujet.

Q.3.1 En incluant tous les membres de votre foyer, combien de douches sont prises au cours d'une semaine ?

Nombre de douches/semaine ____
NSP 99

Q.3.2 À votre connaissance, est-ce que votre douche est équipée d'une pomme de douche à débit réduit ?

Oui 1
Non 2
NSP 9

Q.3.3 En incluant tous les membres de votre foyer, combien de bains sont pris au cours d'une semaine ?

Nombre de bains/semaine ____
NSP 99

CONCLUSION

Merci pour votre participation à ce projet pilote qui a permis de valider une nouvelle technologie en situation réelle.

Annexe 3 : Durée de vie des chauffe-eau

En 1998, une étude avait été effectuée afin de déterminer la durée de vie des chauffe-eau.¹² Effectuée sur 268 chauffe-eau pour la ville de Montréal et 265 chauffe-eau dans la ville de Québec, elle visait à déterminer la durée de vie moyenne des chauffe-eau. Les données proviennent de divers manufacturiers et divers chauffe-eau mais tous électriques.

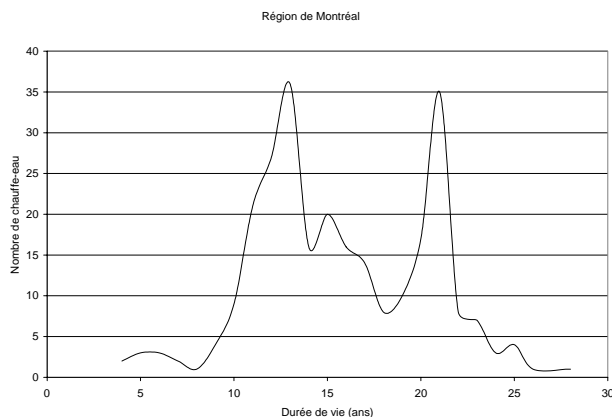


Figure A3-1 : Durée de vie des chauffe-eau dans la région de Montréal selon une étude de 1998 du LTE (basé sur 268 chauffe-eau)

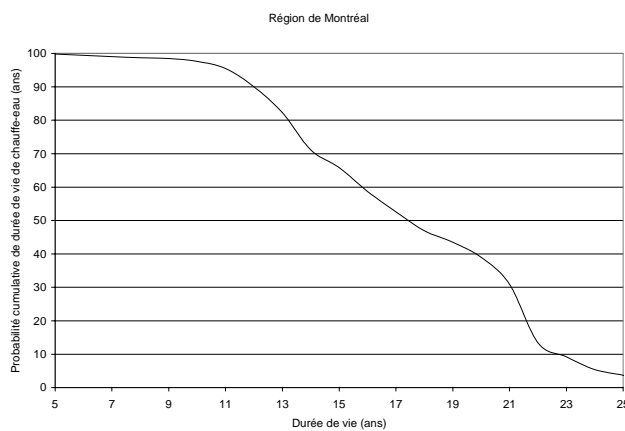


Figure A3-2 : Probabilité cumulative de durée de vie des chauffe-eau selon l'étude de 1998

¹² Correspondance interne d'Hydro-Québec du 12 novembre 1998 de André Laperrière du LTE à M. Bernard Schmitt et M. Francois Vallières.

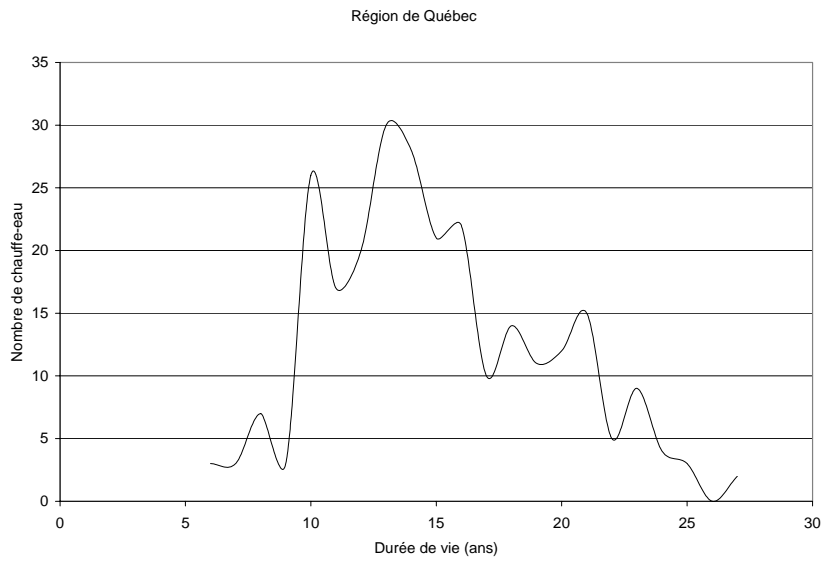


Figure A3-3 : Durée de vie des chauffe-eau dans la région de Québec selon une étude de 1998 du LTE (basé sur 265 chauffe-eau)

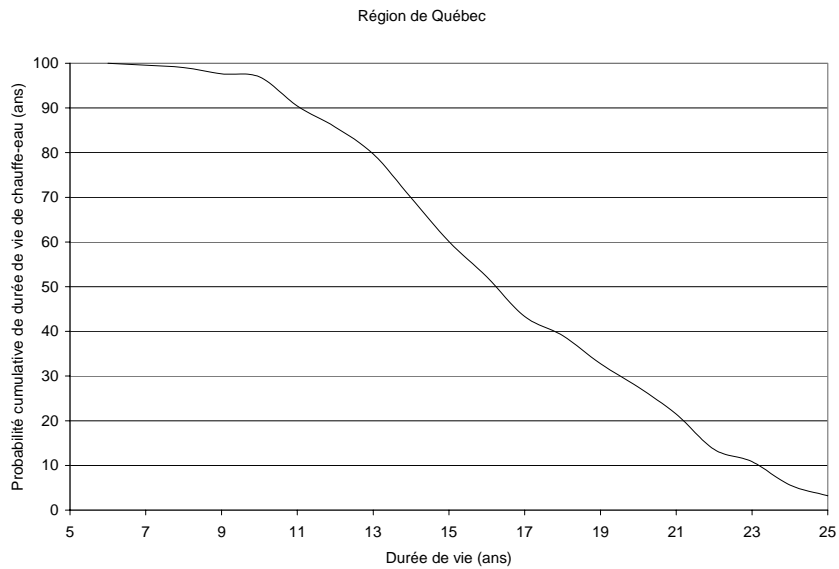


Figure A3-4 : Probabilité cumulative de durée de vie des chauffe-eau selon l'étude de 1998

Tableau A3-1 : Durée de vie des chauffe-eau selon l'étude de 1998

Durée (ans)	Québec	Montréal
28	0	1
27	2	0
26	0	1
25	3	4
24	4	3
23	9	7
22	5	8
21	15	35
20	12	17
19	11	10
18	14	8
17	10	14
16	22	16
15	21	20
14	28	16
13	30	36
12	20	27
11	17	21
10	26	9
9	3	4
8	7	1
7	3	2
6	3	3
5	0	3
4	0	2

Nombre 265 268

De tout ceci, on peut en déduire que le surcoût du chauffe-eau à trois éléments (3) est rentable si l'on tient compte de la durée de vie du chauffe-eau.

Annexe 4 : Portrait du chauffage de l'eau

Cette annexe fournit le portrait du chauffage de l'eau au Québec en 2002 ainsi que la répartition du parc de chauffe-eau. On y remarque la prédominance de l'électricité (93,1 %) comme source d'énergie et les chauffe-eau de 60 gallons (270 litres) représentant 49,3 % de ce parc de chauffe-eau. C'est le marché visé par ce nouveau concept de chauffe-eau.

Tableau A4-1 : Portrait du chauffage de l'eau au Québec en 2002

Nombre de logements privés au Québec	(1)	100.0%	3 230 000
Nombre de chauffe-eau individuels	(2)	90.8%	2 931 225
Nombre de chauffe-eau centraux	(2)	9.3%	298 775
Total des chauffe-eau au Québec		100.0%	3 230 000

Notes :

- (1) Statistique Canada, Recensement 2001
- (2) «Utilisation de l'électricité dans le marché résidentiel», page 70, Hydro-Québec, 2002 et sans tenir compte des non répondants
- (3) Extractions informatiques de l'étude «Utilisation de l'électricité dans le marché résidentiel» sans tenir compte des non répondants

Tableau A4-2 : Répartition des chauffe-eau en 2002

		Électricité		Mazout		Gaz		Total	
		En nbre	En %	En nbre	En %	En nbre	En %	En nbre	En %
Selon les sources d'énergie	(2)	2 728 970	93.1%	99 662	3.4%	102 593	3.5%	2 931 225	100.0%
Selon les capacités	(3)								
Moins de 40 gallons		79 140	2.9%	16 743	16.8%	12 722	12.4%	108 605	3.7%
40 gallons		1 222 579	44.8%	38 968	39.1%	46 782	45.6%	1 308 329	44.6%
41 à 59 gallons		35 477	1.3%	3 488	3.5%	6 771	6.6%	45 736	1.6%
60 gallons		1 345 382	49.3%	33 885	34.0%	31 701	30.9%	1 410 969	48.1%
Plus de 60 gallons		46 392	1.7%	6 578	6.6%	4 617	4.5%	57 587	2.0%
Total chauffe-eau individuels		2 728 970	100.0%	99 662	100.0%	102 593	100.0%	2 931 225	100.0%

Notes :

- (1) Statistique Canada, Recensement 2001
- (2) «Utilisation de l'électricité dans le marché résidentiel», page 70, Hydro-Québec, 2002 et sans tenir compte des non répondants
- (3) Extractions informatiques de l'étude «Utilisation de l'électricité dans le marché résidentiel» sans tenir compte des non répondants

Annexe 5 : L'impact de l'eau

A5.1 La température de l'eau

La qualité de l'eau notamment sa température peut générer un impact sur l'appel de puissance du chauffe-eau. Dans le cas présent, l'étude a eu lieu durant la période d'hiver lorsque la température d'aqueduc est la plus froide, soit de novembre à avril. Le graphique ci-bas fournit d'ailleurs un indicatif de l'influence du mois dans l'année. De toute évidence, la puissance appelée risque d'être plus élevée lorsque la température de l'eau de l'aqueduc est plus froide. Cette information a été obtenue de la ville de Montréal du chercheur Louis Handfield du LTE en 1994.



Figure A5-1 : Température de l'eau de l'aqueduc (Donnée obtenue de la ville de Montréal)

A5.2 L'impact de l'eau sur la durée de vie du chauffe-eau

Cette section vise à déterminer l'impact de la qualité de l'eau sur la durée de vie du chauffe-eau. Ceci a déjà été examiné par le LTE¹³

¹³ Correspondance de 2002 fournie par André Laperrière du LTE à M. Normand Bigras de SCUE d'Hydro-Québec

Un chauffe-eau est constitué d'un réservoir d'acier dans lequel des éléments électriques sont immergés. Ce réservoir est isolé afin de diminuer les pertes de chaleur. Les éléments électriques sont contrôlés par des thermostats. La cuve interne est un cylindre d'acier soudé par un procédé d'arc submergé à deux extrémités d'acier (têtes) et dont les raccords de plomberie sont soudés par emboutissement (« projection welding »)

Le revêtement interne du chauffe-eau est du verre finement moulu, mélangé à de l'eau, déposé sur la surface par pistolets et fusionné à l'acier à une température de 1 600°F. Ceci implique qu'il faut manipuler les chauffe-eau avec soin afin de ne pas craquer le verre. Bien que le revêtement de verre doit être continu, il existe des surfaces non recouvertes. Le verre a comme objectif de protéger le contact de l'eau avec l'acier et ainsi prévenir la corrosion. Le verre se dissout à haute température et conséquemment, une autre protection doit être prévue : l'anode sacrificielle. Le phénomène de corrosion augmente à cause de l'oxygène dissous dans l'eau. Éventuellement, l'eau attaque l'acier et il peut alors survenir de la rouille provenant de l'eau du chauffe-eau.



Figure A5-2 : Rouille interne d'un chauffe-eau de 20 ans.

La rouille peut provenir soit d'un vieux chauffe-eau ou encore du fer présent dans l'eau d'aqueduc. A titre d'exemple, la municipalité de Trois-Rivières-Ouest puise son eau de puits artésiens dont la teneur en fer est élevée. Si la rouille est seulement présente lorsque l'eau froide du robinet coule, c'est qu'il s'agit de l'eau de la municipalité. Si l'âge du chauffe-eau est inférieur à 10 ans, il est très peu probable qu'il s'agisse du chauffe-eau.

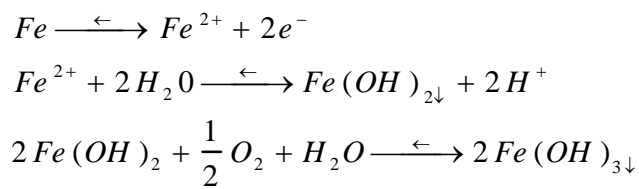
L'anode sacrificie permet de nuire à l'amorce de la corrosion. Le réservoir est la cathode et l'anode est le magnésium. L'anode sacrificie est principalement constituée de magnésium. Comme le terme l'indique, l'anode sacrificie est le matériel qui se corrode au lieu du réservoir et ainsi se "sacrifie" afin d'augmenter la durée de vie du chauffe-eau.

La durée de vie de l'anode sacrificie dépend de nombreux facteurs : dont principalement les qualités de l'eau. Pour être active, l'anode de magnésium doit être dans une eau conductrice. La présence de minéraux contribue à obtenir une eau conductrice. Toutefois, une présence trop élevée de minéraux entraîne une conductivité d'eau élevée et l'anode sacrificie se consume très rapidement. Au contraire, une conductivité d'eau trop faible entraîne une anode peu active (phénomène de polarisation)

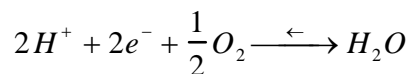
Une fois l'anode sacrificie consommée, l'eau attaque rapidement les surfaces dépourvues de verre. La vie à l'anode dépend de plusieurs facteurs : son poids, la superficie de métal dépourvue d'enduit protecteur depuis le début, le taux auquel du métal additionnel devient nu durant l'usage, la conductivité de l'eau, le pH de l'eau,...

En présence de l'oxygène, les réactions chimiques deviennent les suivantes :

Oxydation anodique :



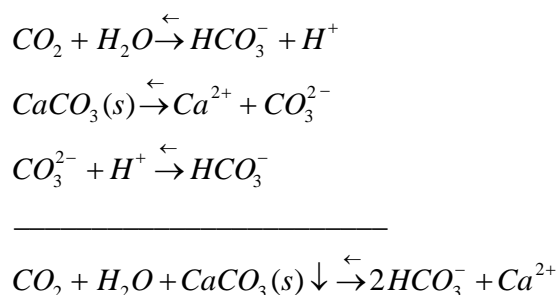
La réduction cathodique est :



D'autre part, la teneur en oxygène dissous accélère fortement les réactions de corrosion. Notons aussi que suivant la relation de NERNST, le potentiel électrochimique est fonction de RT/nF où T est la température absolue. C'est donc dire que la température accélère les réactions chimiques.

Donc, une eau acide (pH faible) et de l'oxygène dissous augmente le phénomène de corrosion. De même, la corrosion est augmentée dans de l'eau chaude comparativement à de l'eau froide.

L'indice de saturation nous indique s'il y aura dissolution ou précipitation de carbonate de calcium (CaCO_3) dans l'eau.



Si l'eau est dure (Ca^{2+}) élevé et alcaline (HCO_3^-), l'équation se déplace vers la gauche et l'eau devient sursaturée en CaCO_3 et il y a précipitation de calcaire.

Si le pH est faible, la concentration des ions H^+ est élevée; la concentration de CO_2 augmente ; l'équilibre se déplace vers la droite; il y a attaque des calcaires et cette eau est agressive. C'est donc dire qu'un pH faible (eau acide) augmente la corrosion des chauffe-eau.

Il est à noter que la corrosion se poursuit puisqu'il y a toujours des ions H^+ à moins d'élever le pH au delà de 10,5. Les ions H^+ (ainsi que le gaz carbonique CO_2 qui influence le pH) sont source de corrosion acide, surtout en dessous de pH de 7. Le maintien d'une eau traitée à son pH d'équilibre est donc essentiel. La corrosion est en effet minimale en l'absence de CO_2 agressif et pour les valeurs élevées de pH, supérieures à 8.

Le moyen de plus simple de protéger une surface métallique reste en effet de la recouvrir d'une substance peu ou non attaquable. Ainsi, une couche de carbonate de calcium laissé par une eau légèrement incrustante peut jouer un tel rôle. Pour protéger les conduites municipales d'eau potable de la corrosion, on préconise la formation d'une mince couche de calcaire sur leur paroi en

rendant l'eau légèrement incrustante pendant un certain temps et par la suite, l'eau est maintenue à son pH d'équilibre. Si l'eau devient agressive, la couche protectrice disparaît.

La qualité de l'eau est souvent associée à sa dureté. Le tableau suivant résume le type d'eau et sa dureté.

Tableau A5-1 : Qualité de l'eau selon la dureté

Qualité de l'eau	Dureté totale (mg/l de CaCO ₃)
Eau douce	< 60
Eau légèrement dure	60 -120
Eau dure	120 - 180
Eau très dure	> 180
valeur optimale	≈ 80

Ainsi, une eau ayant une dureté inférieure à 60 est considérée comme douce et de 60 à 120 comme légèrement dure et de 120 à 180 comme dure. Une dureté de 50 est optimale pour la saveur alors qu'une dureté de 80 mg/l de CaCO₃ est optimale du point de vue de l'utilisation générale de l'eau. Les eaux trop douces présentent des inconvénients : outre leur goût fade, elles corrodent davantage les métaux. Par contre, les pH plus élevés des eaux dures réduisent leur corrosivité. Une certaine dureté est donc avantageuse puisqu'il est possible de contrôler la couche de CaCO₃ dans les conduites afin de les protéger contre la corrosion.

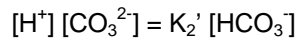
Il existe diverses façons de calculer les caractéristiques de l'eau :

- i) l'indice de Langelier;
- ii) l'indice de Rayzyna et
- iii) l'indice du Ministère de l'Environnement et de la Faune.

En 1992 le gouvernement du Québec suite à l'évaluation d'un problème de santé d'un couple de la municipalité de Sainte-Agathe-des-des-Monts dans les Laurentides a sensibilisé les municipalités sur le phénomène de corrosion et a développé une méthode simple de calcul qui sera décrite ultérieurement. Ces trois méthodes seront maintenant examinées plus en détail :

Méthode 1 : Méthode de Langelier

équilibre de l'eau:



$$pK_2' = -\log K_2'$$

produit de solubilité du CaCO₃:



$$pK_s' = -\log K_s'$$

En isolant $\log [CO_3^{2-}]$ dans les deux équations précédentes, nous obtenons:

$$\log [CO_3^{2-}] = \log K_2' + \log[HCO_3^-] - \log[H^+]$$

$$\log [CO_3^{2-}] = \log K_s' - \log[Ca^{2+}]$$

En égalant les deux équations précédentes, nous obtenons :

$$-\log [H^+] = pK_2' - pK_s' - \log[Ca^{2+}] - \log[HCO_3^-]$$

$$pH_s = pK_2' - pK_s' - \log[Ca^{2+}] - \log[HCO_3^-]$$

On désigne par pH_s le pH d'équilibre de l'eau ou le pH de saturation de l'eau. Pour que l'eau soit indifférente au calcaire, il faut que $pH = pH_s$.

Si le pH est inférieur à pH_s, nous sommes en présence d'une eau **agressive**. L'eau a donc tendance à dissoudre le calcaire et à attaquer le béton et le ciment. La couche protectrice carbonatée ne peut se former sur les canalisations métalliques à cause de la redissolution du CaCO₃ au fur et à mesure de sa précipitation. Le phénomène d'agressivité de l'eau est lié à son acidité. L'acidité des eaux naturelles est due essentiellement à la présence de CO₂ ou gaz carbonique. Un excès de gaz carbonique est donc la cause de cette agressivité.

Si le pH est supérieur à pHs, l'eau a tendance à précipiter du calcaire au contact de germes de CaCO₃ et on la dit **incrustante**. Dans ce cas-ci, nous faisons face à un problème d'entartrage.

À partir de ces équations, Langelier a établi un graphique de calcul faisant intervenir l'alcalinité et la dureté calcique exprimée en mg de CaCO₃ par litre d'eau, la température, et la salinité totale (extrait sec en mg/L) qui influence la valeur des coefficients apparents de dissociation des équilibres.

Les duretés calcique et totale se déterminent comme suit :

$$\text{dureté calcique} = 2,497 \times [\text{Ca}] \quad \text{en mg/L}$$

$$\text{dureté totale} = 2,497 \times [\text{Ca}] + 4,118 \times [\text{Mg}] \quad \text{en mg/L}$$

Nous calculons donc le pHs de la façon suivante :

$$\text{pHs} = C + \text{pCa} + \text{pAlc} \quad \text{avec}$$

$$C = \text{pK}_2' - \text{pK}_s'$$

Nous trouvons les valeurs à partir du graphique suivant :

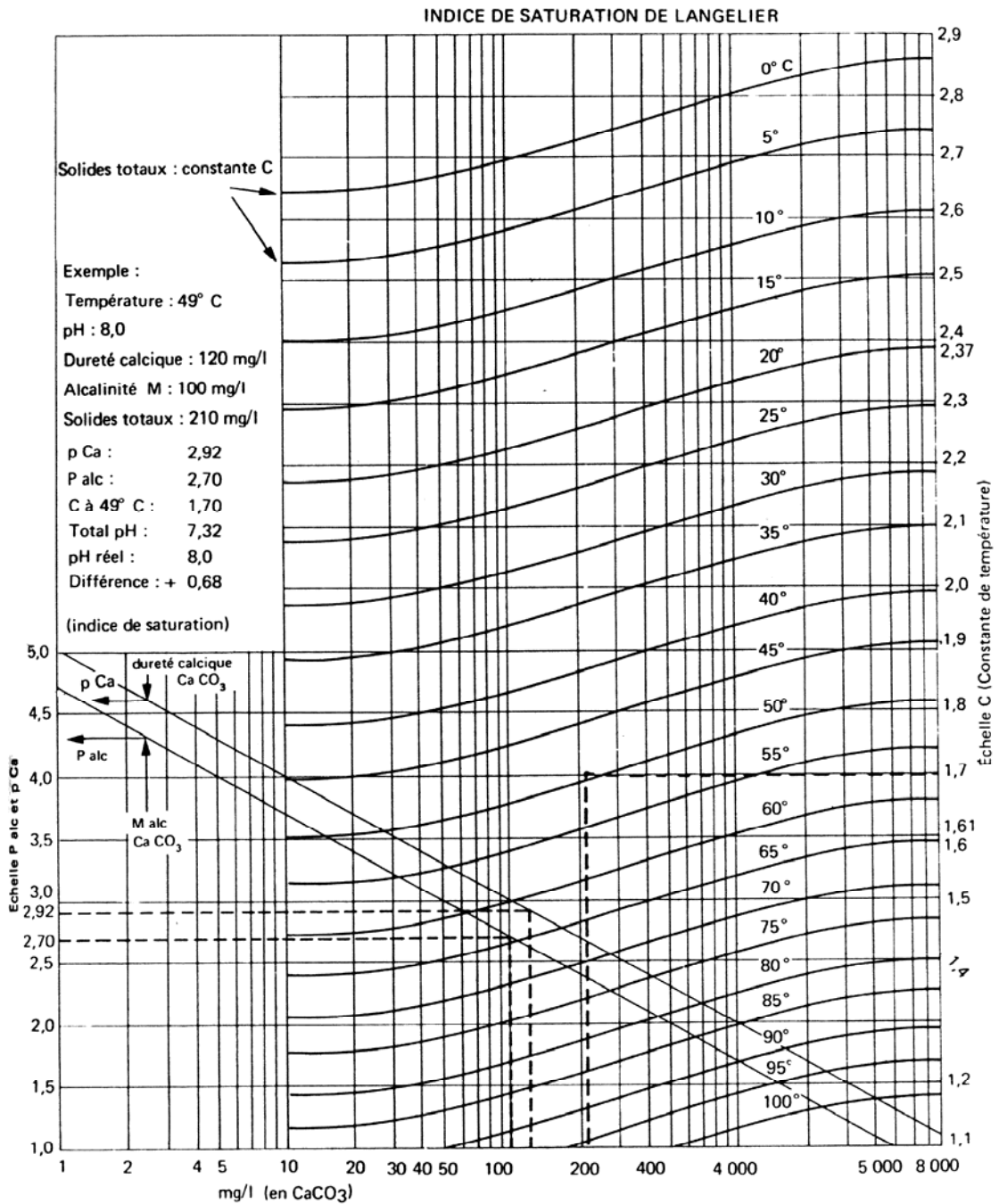


Figure A5-3 : Diagramme de Langelier

Langelier a également établi un **indice de saturation (Is)**. Ce dernier est égal à la différence entre le pH mesuré d'une eau considérée et son pHs calculé:

$$Is = pH - pHs$$

Si $pH < pHs$, Is est négatif et l'eau est agressive.

Si $pH > pHs$, Is est positif et l'eau est incrustante.

Méthode 2 : Méthode de RYZNAR

On peut également calculer la probabilité de réalisation de la protection d'un film par le calcul de l'indice de stabilité de RYZNAR. Il permet de définir empiriquement la tendance à la corrosion ou à l'entartrage d'une eau aérée. Sa définition est la suivante:

$I_R = 2pH_s - pH$ où $pH_s = pH$ théorique de saturation calculé suivant le diagramme de Langelier et pH est le pH mesuré à 25°C.

On observe les caractéristiques suivantes :

Tableau A5-2 : Impact de l'indice de RYZNAR

Indice de Ryznar	Tendance
4 à 5	entartrage important
5 à 6	entartrage faible
6 à 7	équilibre
7 à 7,5	légère corrosivité
7,5 à 8,5	corrosivité importante

Méthode 3 : Indice d'agressivité de l'eau du Ministère de l'environnement

À partir d'une analyse physico-chimique, il est possible de déterminer l'**indice d'agressivité de l'eau (IA)**. Cet indice diffère de l'indice de saturation. Pour le calculer, nous utilisons le pH mesuré, l'alcalinité et la dureté totale en mg de CaCO₃ par litre d'eau.

$$IA = \text{pH} + \log_{10} [(alcalinité) (dureté totale)]$$

Selon le Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), 10 couples d'échantillons doivent être recueillis lorsque l'indice d'agressivité se situe entre 8,0 et 10,0. Lorsque l'indice est supérieur à 10, c'est donc dire qu'il y a beaucoup de minéraux présents dans l'eau et que le pH est élevé (l'eau n'est pas acide). L'eau est donc incrustante. Au contraire, s'il y a peu de minéraux dans l'eau et que le pH est faible (eau acide), c'est donc dire que l'eau est agressive et a tendance à corroder les métaux.

Voici un exemple pour la municipalité de Pointe-du-Lac pour laquelle on a les propriétés suivantes :

pH: 6,55
Alcalinité - mg/litre: 32
Dureté - mg/litre: 57
Solides totaux - mg/litre: 77
Température - °C : 14

Outre le diagramme de Langelier, il est possible d'utiliser la formule de Larson à savoir que:

$$pH_s = A + B - \log[Ca^{2+}] - \log[Alc]$$

Tableau A5-3 : Coefficients A et B

(A) Influence de T		(B) Influence des solides totaux (mg/l)	
T (°C)	A	Solide totaux	B
0	2,60	0	9,70
4	2,50	100	9,77
8	2,40	200	9,83
12	2,30	400	9,86
16	2,20	800	9,89
20	2,10	1000	9,90

$$pH_s = 2,25 + 9,75 - \log(57) - \log(32) = 8,74$$

$$\text{Indice de Langelier} = 6,55 - 8,74 = -2,19$$

$$\text{Indice de Rayznar} = 2 \times 8,74 - 6,55 = 10,93$$

$$\begin{aligned} \text{Indice d'agressivité} &= 6,55 + \log_{10}[dureté \times alcalinité] \\ &= 6,55 + \log_{10}[57 \times 32] = 9,81 \end{aligned}$$

Un chauffe-eau Cascades à l'époque des années 1990 était un chauffe-eau qui rencontrait la norme canadienne de l'ACNOR CSA C191. Aujourd'hui, les chauffe-eau sur le marché doivent rencontrer la norme CSA C191. La norme exige des performances minimales. Le chauffe-eau d'Hydro-Québec du parc de location rencontraient les exigences requises pour la qualité de l'isolation et la qualité des thermostats. Toutefois, les chauffe-eau d'Hydro-Québec du parc de location possédaient des éléments électriques (basse densité de puissance de l'élément du bas) et un revêtement vitrifié de qualité supérieure (double épaisseur de verre) comparativement aux exigences minimales requises et ceci ayant comme objectif d'augmenter la durée de vie des chauffe-eau.

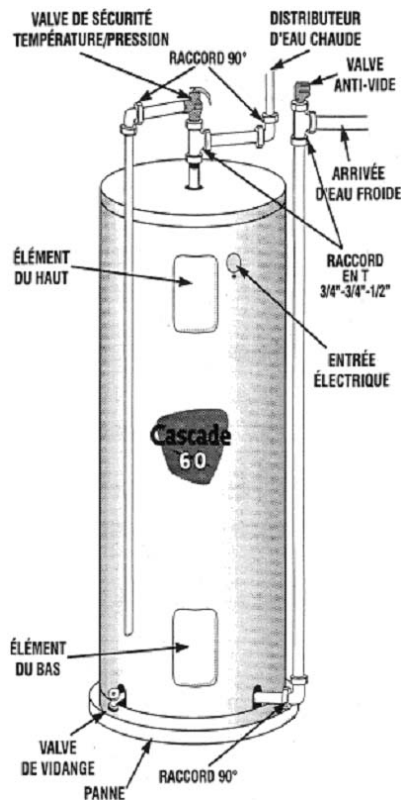


Figure A5-4 : Schéma d'un chauffe-eau avec entrée d'eau froide par le bas et de son installation¹⁴

5.3 La durée de vie des chauffe-eau et les municipalités

Bien que théorique, les explications précédentes ont démontré l'impact de la qualité de l'eau sur la durée de vie des chauffe-eau. Ainsi, l'eau dans la ville de Shawinigan est très douce et acide (alcalinité de 7 mg/L, dureté de 15 mg/L, pH de 6,44) ce qui correspond à un indice d'agressivité calculé selon le ministère de l'environnement de 8,5. La durée de vie des chauffe-eau pour cette ville se situe à approximativement 5 ans.

On utilise comme valeur acceptable les indices d'agressivité supérieurs à 10. Une municipalité est acceptable si l'indice d'agressivité (**IA**) est supérieur à 10. De plus, lorsqu'il y a trop de fer présent dans l'eau, ceci a comme conséquence de consommer l'anode sacrificielle. La concentration de fer présent dans l'eau ne doit pas dépasser 0,2 mg/litre.

¹⁴ Digramme de la compagnie Giant

Pour la ville de Montréal, le pH de l'eau est à 7,81, l'alcalinité à 86, la dureté à 124 ce qui donne un indice d'agressivité de 11,8. La durée de vie des chauffe-eau moyenne se situe alors à approximativement 15 ans.

Compte tenu des tarifs de location, le programme de location de chauffe-eau ne pouvait être rentable si toutes les municipalités avaient été sélectionnées. Deux facteurs devaient être considérés : les paramètres de l'eau ainsi qu'un bassin de population élevé afin d'assurer une masse critique. Dans le cadre du programme de location des chauffe-eau, le LTE avait mis au point pour Hydro-Québec Distribution un critère de sélection à savoir que l'indice d'agressivité devait être supérieur à 10 et le taux de fer inférieur à 0,20 mg/litre.

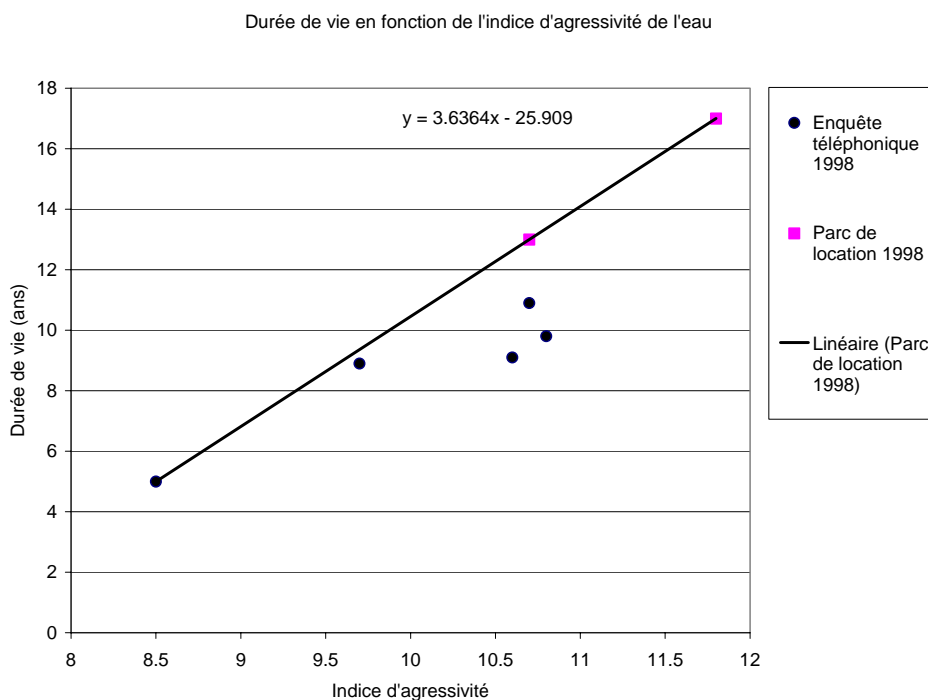


Figure A5-5 : Durée de vie en fonction de l'indice d'agressivité de l'eau

Somme toute, on peut s'attendre à une durée de vie supérieure à 10 ans en autant que l'IA de l'eau soit supérieur à la valeur de 10.

5.4 Durée de vie des éléments chauffants

Les éléments chauffants sont des résistances blindées immergées dans l'eau. Les éléments sont soit de type vissé ou fixé à l'aide d'une bride carrée rattachées au réservoir par des moyens appropriés. Dans le cas des chauffe-eau d'Hydro-Québec, les éléments sont fixés à l'aide d'une bride.

Des facteurs qui influencent la durée de vie des éléments sont:

- la densité de puissance (Watts/cm²)
- la qualité du fil de résistance
- l'isolant diélectrique (oxyde de magnésium)
- l'épaisseur de la gaine de cuivre
- la composition de la gaine de cuivre

L'élément électrique est constitué d'un filament chauffant (résistance chauffante) à l'intérieur d'une gaine de cuivre remplie d'oxyde de magnésium.

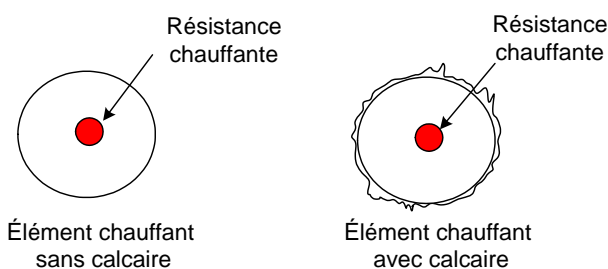


Figure A5-6 : Éléments chauffants avec et sans calcaire

La présence excessive de calcaire agit comme un isolant et empêche la dissipation de chaleur. Conséquemment, la résistance chauffante opère à une température plus élevée ce qui peut entraîner un bris prématuré de l'élément électrique. Toutefois, la chaleur est émise à l'eau à l'intérieur du chauffe-eau et la température de l'eau est régulée par les thermostats. Il n'y a donc pas de conséquence sur la consommation énergétique mais uniquement sur la durée de vie des éléments électriques.

Un facteur qui influence la durée de vie des éléments chauffants est la densité de puissance des éléments. En dissipant la puissance électrique sur une plus grande surface, la température interne de l'élément est plus basse ce qui contribue à augmenter la durée de vie de l'élément. On dénote généralement selon la norme CSA C191 les éléments à haute densité de puissance (80

W/po² ou 12,4 W/cm²) ou les éléments à basse densité de puissance (40 W/po² ou 6,2 W/cm²). Les éléments à basse densité de puissance sont utilisés pour l'élément inférieur ; l'élément à haute densité de puissance pour l'élément supérieur. Les chauffe-eau sur le marché qui ne rencontrent pas la norme C191 ont souvent des densité de puissance de 120 W/po² ou 18,6 W/cm²)



Figure A5-7 : Éléments électriques installés à l'époque en usine dans les années 1990 dans le chauffe-eau du parc de location d'Hydro-Québec.

Le chauffe-eau Giant du parc de location de chauffe-eau possédait à l'époque un élément du bas (Figure A5-7, photo de gauche) de dimension supérieure à celui du haut (Figure A5-7, photo de droite). Dans la plupart des cas, l'élément du bas fonctionne de l'ordre de 90% du temps alors que l'élément du haut n'est sollicité que 10% du temps. A puissance égale, un élément de dimension supérieure fonctionne donc à température plus basse ce qui en augmente la durée de vie.

Il existe actuellement deux modèles de thermostat : le modèle AW et le modèle AW 59T. Les nouveaux chauffe-eau installés depuis le début de l'année 2002 possèdent le modèle 59T puisque le modèle AW a été discontinué. Le modèle 59T aurait été amélioré comparativement aux versions précédentes. Quoiqu'il en soit, le chauffe-eau à trois éléments permet de réduire la sollicitation du chauffe-eau. Voici en général la construction des éléments électriques :

- les éléments en cuivre seront du type *resistor* à quatre écrous de 3/8" de diamètre et noix. Appui d'élément en cuivre (32mils (32 millième de

pouce d'épaisseur)) soudé à l'argent à l'épreuve des coulisses. Le tout est supporté par une plaque d'acier 0,25 pouce d'épais ASE 1017 minimum. La gaine de cuivre des éléments est de type K 28 mils (28/1000) de pouce de paroi.

- L'intérieur est d'oxyde de magnésium grade H. La résistance est de fil nichrome (nickel-chrome), type C ou mieux. La connexion entre le fil nichrome et le connecteur de l'élément doit être de type fusionné (*fusion weld*). Les calibres des résistances sont donnés au Tableau A5-4 ci-bas.

Tableau A5-4 : Calibre de la résistance de l'élément chauffant

Type d'élément	calibre de la résistance
3000 Watts 240V 80W/pouce**2	24 gauge
3000 Watts 240 V 40W/pouce**2	23 gauge
3800 Watts 240 V 80 W/pouce**2	23 gauge
3800 Watts 240 V 40 W/pouce**2	23 gauge
4500 Watts 240 V 80 W/pouce**2	23 gauge
4500 Watts 240 V 40 W/pouce**2	22 gauge

Tableau A5-5 : Caractéristiques des densités de puissance des éléments du bas

	Longueur de départ (pouces)	Longueur roulée (pouces)	Densité de puissance (W/pouce ²)
3000 Watts 240V	33	41 1/4	81
3000 Watts 240 V	66	79 1/4	40
3800 Watts 240 V	42	50 1/2	82
3800 Watts 240 V	66	79 1/4	51
4500 Watts 240 V	48	58	80
4500 Watts 240 V	69	84	56

Note: 1) Le diamètre externe de l'élément varie entre 0,312 et 0,315 pouce maximum.

Note 2) Pour calculer la densité de puissance:

$$\text{Puissance}/(\text{Longueur roulée} - 2 \text{ "})$$

- La densité de puissance des des éléments du haut est de 12,4 W/cm² (80W/po²) tandis que celle des éléments du bas sont donnés dans le Tableau A5-5.
- L'élément de 800 watts possède une longueur de 56 pouces. En soustrayant les 2 pouces inactifs de chauffe, on obtient une longueur effective de 52 pouces. La densité de puissance est donc :

$$\text{Densité de puissance} = \frac{800}{\pi \times D \times L} = 2,5 \text{ W/cm}^2 \text{ ou } 16 \text{ W/po}^2$$

$$D = 0,312 \text{ pouce (0,780 cm)}$$

$$L = 52 \text{ pouce (130 cm)}$$

- densité de puissance de l'ordre de 2,5 W/cm² alors que la norme CSA-C191 spécifie 6,2 Watts/cm² pour l'élément du bas et 12,4 Watts/cm² pour l'élément du haut. Ceci explique la fiabilité du chauffe-eau à trois (3) éléments.

La capacité des éléments électriques doit être à $\pm 10\%$ de la puissance nominale des éléments électriques mesurés sur un réservoir froid cinq minutes après l'application de la tension nominale d'opération de 240V.

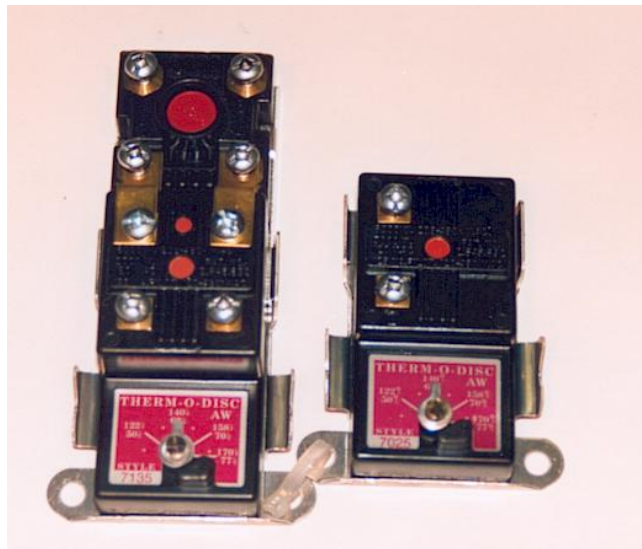


Figure A5-8 : Thermostat du haut et thermostat du bas AW



Figure A5-9 : Thermostat du haut et thermostat du bas 59T

5.5 La durée de vie des chauffe-eau : le simple verre versus le double verre ?

Vers les années 2000, des essais ont été effectués sur la solubilité de verre. Des échantillons provenant de deux chauffe-eau (un à simple verre et un à double verre) ont été installés sur une cuve maintenue en température de l'ordre de 90°C selon la méthode d'essais CSA C309.



Figure A5-10 : Montage de solubilité de verre du LTEE

L'épaisseur du verre est de l'ordre de 9 millièmes de pouce pour le simple verre et de 18 millièmes pour le double verre. Les mesures obtenues à l'aide d'un capteur ultrasonique ont démontré une très faible réduction en épaisseur après une période de deux mois d'essais consécutifs. D'autre

part, ci-joint les valeurs de pertes de réduction de poids des échantillons également après une période de deux mois.

On remarque que la perte de poids des échantillons de double verre est de l'ordre de 0.0015 supérieure à celle de simple verre. En % relatif, on a donc $0.0015/0.0051$, soit 29%. En d'autres termes, pour une augmentation de 100% d'épaisseur, il n'y a pas 100 % d'augmentation de solubilité mais plutôt 29%. On en déduit donc que le double verre ne se dissout pas au même rythme que le simple verre mais légèrement plus rapidement. Toutefois, compte tenu de la quantité additionnelle de matériel vitrifié (le double), il y a un net bénéfice à installer la double vitrification. Toutefois, les mesures expérimentales ont démontré des pertes de poids excessivement faibles ce qui rend la mesure expérimentale d'autant plus difficile.

En ce qui a trait à déterminer l'effet sur la durée de vie des chauffe-eau, on doit se fier à l'expérimentation obtenue du Nouveau-Brunswick. Les discussions effectuées avec E. Léger de NB Power sont décrites dans des rapports du LTEE. Une durée de vie additionnelle de 2 ans a été suggérée par NB Power. Toutefois, compte tenu de la réduction de l'épaisseur de l'acier des réservoirs de chauffe-eau au fil des ans, il est fort probable que la double vitrification permettra de contrer l'effet néfaste de cette réduction et qu'alors l'augmentation de la durée de vie sera plus minime. Il nous est impossible à ce stade d'avancer un chiffre exact.

Tableau A5-6 : Essais de solubilité de verre et pertes de poids en gramme du 8 septembre 1998 au 9 décembre 1998

Simple verre		Double verre	
S2-10	-0.0016	D2-8	-0.0012
S2-4	-0.0031	D2-1	-0.0034
S2-6	-0.0031	D2-7	-0.0035
S2-5	-0.0032	D2-10	-0.0038
S2-2	-0.0035	D2-6	-0.0044
S-27	-0.0039	D-24	-0.0051
S2-7	-0.0042	D-25	-0.0052
S2-1	-0.0044	D-17	-0.0058
S2-3	-0.0048	D2-3	-0.0059
S-18	-0.0053	D-28	-0.0059
S2-8	-0.0055	D-27	-0.0064
S-23	-0.0059	D2-2	-0.0066
S-22	-0.0061	D2-9	-0.0076
S2-9	-0.0064	D2-4	-0.008
S-24	-0.0064	D-19	-0.0087
S-25	-0.0064	D-21	-0.0089
S-17	-0.0065	D2-5	-0.0089
S-26	-0.0065	D-26	-0.0104
S-20	-0.007	D-23	-0.0108
S-21	-0.0079	D-30	-0.0113
Moyenne	-0.0051		-0.0066



ARTICLE TECHNIQUE

Bilan d'opération de systèmes solaires thermiques au LTE

CONTEXTE ET OBJECTIFS

À la demande de la direction Efficacité Énergétique d'Hydro-Québec, le LTE s'est doté d'un banc d'essai destiné à évaluer, en conditions réelles, les apports énergétiques de systèmes solaires destinés au chauffage d'eau domestique.

Le banc d'essai du LTE a été construit au cours de l'automne 2007 et une campagne de mesure a été réalisée sur toute l'année 2008 et s'est poursuivie depuis. L'intérêt était d'évaluer si l'acquisition de tels systèmes par des clients résidentiels d'Hydro-Québec pourrait faire l'objet d'une aide financière, en retour du fait que ces systèmes solaires:

- 1- sauvent de l'énergie électrique associée au chauffe-eau (kWh);
- 2- ont un impact au niveau de l'appel de puissance (kW) en période de pointe.

Le projet visait aussi à juger du fonctionnement général des systèmes ainsi qu'à identifier les meilleures pratiques d'installation et d'exploitation, les particularités des divers types de système et d'éventuels problèmes techniques.

LA CONSTRUCTION DU BANC D'ESSAI

Les panneaux solaires ont été installés sur le toit d'un bâtiment situé à l'arrière du bâtiment principal du LTE. Une maisonnette a été construite au pied du mur du sud, à l'intérieur de laquelle ont été installés les pompes, les contrôles, les réservoirs de stockage et les chauffe-eau électrique, ainsi que l'équipement d'acquisition de données. Les panneaux solaires ont été montés sur des structures métalliques solidaires au toit du bâtiment. Tous les panneaux étaient orientés 20° sud-ouest. La photo qui suit montre l'installation.



APPROCHE EXPÉRIMENTALE

Quatre systèmes disponibles sur le marché, comportant chacun des capteurs solaires, la tuyauterie et une pompe pour la circulation du caloporteur (eau-glycol), un contrôleur et un réservoir de stockage étaient associés chacun à un chauffe-eau standard de 60 gallons. L'eau provenant de l'aqueduc municipal était préchauffée par le système solaire dans le réservoir de stockage. L'eau ainsi préchauffée constituait l'alimentation des chauffe-eau électriques standards, qui complétaient le chauffage jusqu'à une température de 60 °C.

La consommation énergétique (kWh) des chauffe-eau électriques constituait la base de comparaison essentielle entre les divers systèmes solaires. Un chauffe-eau standard, sans préchauffage solaire, servait de référence: les économies d'énergies associées aux systèmes solaires sont évaluées en comparaison avec la consommation de référence.

CHOIX DES SYSTÈMES SOLAIRES ET DE LA CAPACITÉ DES RÉSERVOIRS DE STOCKAGE

Le choix de la capacité des réservoirs a été faite en fonction des recommandations des fournisseurs. Les systèmes testés étaient constitués ainsi:

- Système A: capteurs à panneaux vitrés, réservoir 365 litres, échangeur à thermosiphon¹;
- Système B: capteurs à tubes sous vide, réservoir 300 litres, à échangeur intégré;
- Système C: capteurs à panneaux vitrés, réservoir 400 litres, à échangeur intégré;
- Système D: capteurs à panneaux vitrés, réservoir 365 litres, échangeur à thermosiphon.

CHOIX DE L'INCLINAISON

Le choix a été fait de fixer l'inclinaison (angle par rapport à l'horizontale) à 60°. Cette décision était motivée par le fait que pendant l'hiver, il est important de minimiser l'impact de la chute de neige et du verglas sur la surface des panneaux solaires. De plus, cette inclinaison a pour effet d'augmenter l'apport du rayonnement solaire durant l'hiver, période qui est d'intérêt particulier pour Hydro-Québec relativement à la pointe sur le réseau électrique. Par contre, une forte inclinaison n'est pas très représentative de la moyenne des pentes de toit des résidences québécoises. Or, la pratique courante est de coucher les panneaux solaires directement sur la toiture, elle-même ayant un angle souvent peu prononcé.

¹ Les thermosiphons sont des dispositifs de transfert de chaleur entre la boucle du caloporteur et l'eau du réservoir de stockage, en mettant à profit le gradient de densité de l'eau entre l'échangeur de chaleur et le réservoir.



ARTICLE TECHNIQUE (SUITE)

LES MESURES ET L'ACQUISITION

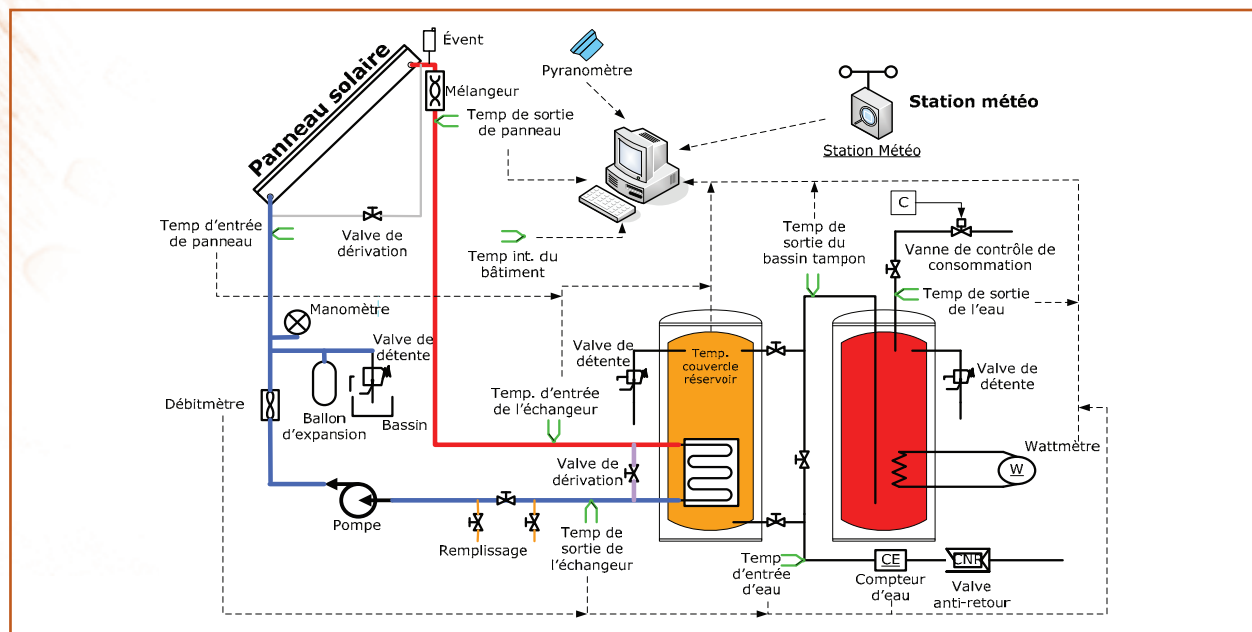
Les paramètres mesurés sur le banc d'essai sont les suivants:

- la densité de flux de rayonnement total dans le plan des capteurs solaires
- les températures du caloporteur à l'entrée et sortie des panneaux solaires
- les températures du caloporteur à l'entrée et sortie des échangeurs
- le débit du caloporteur
- le débit et la consommation globale d'eau chaude domestique (soutirage)
- la température de l'eau à l'entrée et à la sortie des réservoirs et des chauffe-eau
- la puissance et la consommation d'énergie électrique des chauffe-eau
- température de l'air extérieur, humidité et autres paramètres climatiques

Le schéma de la figure suivante montre l'arrangement général et les points de mesure.

LA CONSOMMATION D'EAU

Afin de simuler la consommation d'eau d'une famille typique, un système de valves commandées étaient ouvertes pendant certains intervalles de temps et selon un débit correspondant à diverses activités typiques: douche, bain, lave-vaisselle, lavage de mains, rinçage, etc. La séquence de soutirage était imposée simultanément à tous les chauffe-eau électriques associés aux systèmes solaires, ainsi qu'au chauffe-eau de référence. Le profil de soutirage qui a été choisi est typique d'une famille de quatre, dont deux adultes, un adolescent et un enfant en bas âge. En semaine, les membres de la famille sont supposés être absents durant le jour: départ avant 8h00 le matin, retour à la maison à partir de 17h00. Les données expérimentales provenant d'un autre projet d'étude du LTE portant sur les chauffe-eau domestiques ont été exploitées afin d'établir ce profil de soutirage. La consommation quotidienne moyenne visée était d'environ 210 litres, ce qui fait une moyenne annuelle de 200 litres par jour en comptant une absence de deux semaines par année correspondant à une période de vacances.





ARTICLE TECHNIQUE (SUITE)

Il est à souligner que l'ASHRAE² et le logiciel RETScreen³ suggèrent plutôt une consommation de 240 litres par jour pour une famille de 4 personnes.

LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Les deux périodes de mesures quasi-continues ont couvert toute l'année 2008 et les mois d'octobre 2009 à septembre 2010. Nous avons donc des mesures sur 2 années complètes.

L'ENSOLEILLEMENT

Nos mesures de rayonnement solaire ont été jugées imprécises, à cause de la lente dérive de la réponse des capteurs utilisés. Nous avons constaté de grandes différences d'ensoleillement global (kWh reçus par m² de panneau) entre le même mois de deux années différentes. Par contre, des mesures à partir de la station de Ressources Naturelles Canada (RNC) à Trois-Rivières indiquent que les moyennes annuelles ont été proches de la normale de 2008 à 2010.

LA TEMPÉRATURE

Pour ce qui est de la température, la moyenne à Shawinigan telle que mesurée sur place pendant les deux années ciblées, a été plus élevée qu'à la normale : 4,7°C (2008) et 6,9°C (2009-2010) versus 4,5°C selon Environnement Canada.

LA NEIGE

Les deux périodes hivernales comprises à l'intérieur de l'année 2008 ont été particulièrement neigeuses. Les panneaux solaires se sont recouverts de neige et/ou de grésil à plusieurs reprises. En général, tous les panneaux se retrouvaient libres de neige après une chute de neige légère, mais une forte chute de neige voyait les panneaux solaires se couvrir presque complètement, malgré le fait que leur inclinaison était relativement forte (60°). Donc, plusieurs journées avec un bon potentiel solaire ont été annulées par la présence de neige, ce qui a nuit à l'apport annuel global. Par contre, une période subséquente d'ensoleillement prolongé a toujours conduit au dégagement complet des panneaux, sans intervention humaine. Pour sa part, l'hiver 2009-2010 a été beaucoup moins neigeux et les périodes de couverture prolongée des panneaux par la neige peu fréquentes.

CONDITIONS PARTICULIÈRES

L'année 2008 ayant conduit à des résultats en deçà des prévisions des fournisseurs, il a été décidé de retirer les débitmètres de la ligne du mélange eau-glycol, qui restreignait le débit de glycol. Ceci représentait une des seules différences notables entre nos systèmes expérimentaux et une installation domestique. Le débit de glycol était donc plus élevé au cours de la période 2009-2010. Aussi, seuls deux des quatre systèmes (B et D) ont été évalués en 2009-2010.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Sur l'année 2008, les systèmes solaires ont couvert de 33 % à 38 % des besoins en eau chaude de la famille fictive (200 litres par jour, nécessitant environ 4 500 kWh par an). Il est intéressant de constater le fait que les quatre systèmes solaires, dotés de surfaces de panneaux plus ou moins grandes, avec des réservoirs plus ou moins gros, ont eu un apport assez semblable en termes d'économie d'énergie.

L'année 2009-2010 a donné des résultats semblables. Un des systèmes a vu la couverture s'améliorer de quelques pourcents, alors que la couverture de l'autre système s'est abaissée. La moyenne de couverture pour l'ensemble des systèmes sur les deux années a été de 35 %.

L'énergie annuelle fournie par les systèmes solaires pour le chauffage de l'eau domestique représente environ 20 % de l'énergie annuelle incidente à la surface des capteurs solaires.

Les périodes de grand froid ont souvent été accompagnées d'un fort ensoleillement. Les résultats des essais réalisés au LTE ont montré que la contribution moyenne à la baisse de puissance dans les périodes de grands froids, et à l'intérieur des périodes critiques pour le réseau (6h00 à 10h00 et 16h00 à 20h00) a été parfois aussi élevée que 55 % et parfois nulle. Lorsque la période de grand froid est longue, une seule journée plus nuageuse voit le réservoir de stockage se vider de ses réserves.

Par ailleurs, en période de fonctionnement maximal (sur l'heure du midi solaire), les pertes de tuyaux représentent un peu plus de 10 % du gain thermique du panneau en période chaude de l'été et jusqu'à 25 % en période froide de l'hiver. Aussi, il a été évalué que les pertes par le dos des panneaux représentent de 10 % à plus de 20 % des gains thermiques des panneaux montés sur des structures et exposés aux vents.

2 ASHRAE, HVAC Applications – chapitre 49 Service Water Heating, ASHRAE, 2007.

3 RETScreen est un logiciel d'analyse de projets d'énergies propres développé par Ressources Naturelles Canada (www.retscreen.net/fr/home.php)



ARTICLE TECHNIQUE (SUITE)

LA RENTABILITÉ POUR LE CLIENT RÉSIDENTIEL

À la fin de 2007, le système le moins coûteux sur le marché comportant deux panneaux plats de 4'x 8' était de 4 700\$, incluant le transport mais excluant les taxes et les frais d'installation. Le réservoir de stockage recommandé par le fournisseur est un chauffe-eau de 80 gallons (365 litres), d'un prix minimum de 700\$. L'installation est estimée à 3 000\$, voire davantage. En incluant les taxes, on parle d'un coût supérieur à 9 500k\$.

À partir des résultats expérimentaux, il est raisonnable d'espérer des économies moyennes annuelles réelles de 35% sur une dépense énergétique annuelle de 4 500 kWh associée au chauffage de l'eau chaude d'une famille de 2 adultes et 2 enfants. Au coût actuel de l'électricité au Québec, l'économie annuelle pour le client domestique est d'environ [4 500 kWh x 35% x 7¢/kWh=] 110 dollars. Le période de retour sur l'investissement simple (coût d'acquisition / économies annuelles) est donc bien supérieur à 50 ans, donc beaucoup plus longue que la durée de vie du système solaire, qui est estimé à une trentaine d'années. Ce calcul exclut les frais d'exploitation du système. En effet, il est intéressant de soulever le fait que certains fournisseurs recommandent le changement complet du mélange de glycol à tous les ans. Le coût de cette opération élimine carrément l'économie réalisée sur la facture d'électricité. Mais nous avons pu constater que cette mesure est effectivement de mise dans le cas où la famille s'absente pendant une période prolongée en plein été: lors de la simulation de cette période, la température du caloporteur en sortie du panneau a grimpé au-dessus de 150°C pour un des systèmes. La dégradation du glycol a été constatée sur tous les systèmes solaires.

Potentielle contribution d'Hydro-Québec

L'utilisation d'un système solaire représente une économie d'électricité qui a une certaine valeur pour Hydro-Québec. Un exercice d'évaluation de cette valeur a été réalisé en utilisant les outils d'analyse économique de la Direction Valorisation de la Technologie. Selon cet outil, la valeur actualisée nette pour Hydro-Québec serait d'environ 650 dollars par installation solaire domestique. En faisant l'hypothèse que cette somme soit transférée au client,

celui-ci reçoit une somme représentant moins de 7% de son investissement initial. L'impact d'une telle contribution a peu de chances d'être significatif.

Dans cet exercice, la valeur associée par Hydro-Québec au coût du kWh marginal évité inclut déjà une valeur associée à la réduction de l'appel de puissance. Par contre, il se peut qu'une valeur spécifique soit éventuellement associée à l'effacement ou à la réduction de l'appel de puissance aux heures considérée de pointe pendant l'hiver.

Selon nos résultats, il est improbable que la réduction de puissance à considérer pour un parc entier soit supérieure à 25%. Si l'on considère une puissance moyenne constatée de 1,4 kW entre 6h00 et 10h00 pour le chauffe-eau de référence de notre banc d'essai, la baisse d'appel de puissance serait de (25% x 1,4 kW =) 0,35 kW. Même un généreux appui financier de 100\$/kW pour la baisse de puissance signifierait une somme de seulement 35\$. Encore là, l'incidence sur la rentabilité serait négligeable. Ici, il est à rappeler que l'impact sur la puissance lors des pointes d'hiver était assez optimal, étant donné la forte inclinaison des panneaux solaires de notre banc d'essai (60°). Une pente moins forte, comme lorsque les panneaux sont accolés à la surface d'un toit, implique un impact encore moins important en hiver.

DISCUSSIONS

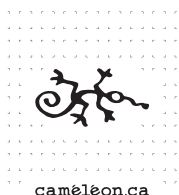
Le projet a permis de confirmer que les systèmes solaires de chauffage d'eau domestique offerts sur le marché ont un apport énergétique somme toute intéressant, couvrant environ 35% des besoins annuels en eau chaude. Certaines conditions défavorables, comme la longueur des conduites de glycol, peuvent avoir affecté la performance des systèmes de notre installation d'essai. Par contre, il est difficile de croire que la couverture des besoins puisse dépasser 40%.

Les fournisseurs des systèmes que nous avons acquis prévoient entre 50% et 60% d'économie d'énergie pour la configuration à deux panneaux et la capacité des réservoirs de stockage associés à chacun de nos systèmes solaires. C'est aussi la plage de valeurs que publie l'Agence de l'Efficacité Énergétique du Québec (AEE)⁴.

GRAPHISME IMPRIMÉ
OBJETS PROMOS
SITE INTERNET
DESIGN INVENTIF
BOUTIQUE CAMÉLÉON

QUÉBEC
198, rue Saint-Vallier Ouest
T 418.694.2262

MONTREAL
1012, av. du Mont-Royal Est, bur. 106
T 514.868.1852



Johnson
Controls

Isabelle-Eve Poirier, ing. PA LEED®
Directrice de comptes principaux CVAC Contrôle
Division Bâtiments efficaces

Société de Contrôle Johnson, S.E.C.
1375 rue Frank Carrel, bureau 3, Québec PQ G1N 2E7 Canada
Tél 418-681-7958 poste 222 Téléc 418-681-3599
Cel 418-802-0463 isabelle-eve.poirier@jci.com
Licence RBQ 8280-8148-25

VENTILATION C.F.
Spécialiste en ventilation, climatisation, réfrigération



Christian Fournier
vice-président

21235, boul. Henri Bourassa
Québec (Québec) G2N 1R4
Licence R.B.Q. 1359-2837-74

Téléphone : 418 849-2838
Télécopieur : 418 849-2830
Courriel : christian.fournier@ccapcable.com
www.ventilationcf.com



ARTICLE TECHNIQUE (SUITE)

Afin de vérifier l'influence des conditions particulières de l'année 2008, le logiciel RETScreen International a été exploité en utilisant les mêmes paramètres de base que sur le banc d'essai du LTE: inclinaison, orientation, latitude, caractéristiques des panneaux solaires, capacité du réservoir de stockage, consommation d'eau chaude, et ensoleillement et températures tels que mesurés sur notre banc d'essai. Selon les systèmes, RETScreen prévoit un taux de recouvrement entre 40% et 50%. Pour obtenir une valeur inférieure à 40%, des paramètres particuliers comme « pertes dues à la neige et aux salissures », « pertes de chaleur des tuyaux », doivent être ajustés bien au-delà de la plage suggérée par le logiciel.

Un des facteurs pouvant expliquer cet écart est assurément la présence d'humidité à l'intérieur des panneaux plats vitrés. En effet, le scellement des capteurs solaires n'est pas parfait, et l'eau de pluie pénètre à l'intérieur. Cette eau est évaporée lorsque le capteur se réchauffe et elle condense sur la paroi vitrée. La condensation laisse un résidu qui diminue la transparence du verre et le rendement du capteur s'en trouve affecté. Vraisemblablement, ce phénomène se poursuit tout au long de la vie des panneaux solaires. Bien sûr, le système à tubes sous vide ne souffre pas de ce phénomène: par contre, au cours des années d'essais, quelques tubes ont perdu leur vide et ont dû être remplacés.

Une autre explication possible pour expliquer l'écart entre les économies évaluées et les estimations des fournisseurs est un défaut de conception ou d'exploitation du banc d'essai du LTE. Pour augmenter le degré de confiance en ses résultats, le LTE participe actuellement à une campagne de mesurage de la performance de systèmes réels installés dans des résidences dans le cadre d'un projet-pilote de l'AAE⁵.

Cette campagne de mesure permettra de confirmer ou non les résultats obtenus sur le banc d'essai, mais aussi de constater l'impact relatif de facteurs tels que l'orientation de la maison, l'inclinaison des capteurs, la région considérée et son climat.

L'EXPÉRIENCE FRANÇAISE

Il est intéressant de soulever qu'une telle campagne de mesure a été réalisée en France pour l'ADEME⁶. Pour connaître les performances réelles des chauffe-eau solaires individuels en conditions réelles, près de 120 installations ont été instrumentées et suivies sur une année complète (2003-2004) dans quatre régions⁷. En termes d'énergie sauvée, on parle de 200 (Alsace) à 250 kWh (Provence-Alpes-Côte-d'Azur) par m² et par an. Ces valeurs sont à comparer avec nos résultats, entre 260 et 360 kWh/m²/an. À l'instar de nos résultats, l'ADEME a constaté que « la productivité solaire autour de 200 kWh/m² est largement inférieure aux valeurs admises habituellement (400 kWh/m²) par les bureaux d'étude et constructeurs ».

CONCLUSIONS

Le client

Du point de vue du client, force est de constater que les économies d'énergie électrique ne peuvent, actuellement, justifier le coût d'un système solaire, même en tenant compte d'éventuelles subventions d'Hydro-Québec, basées à la fois sur les économies d'énergie et sur la baisse de l'appel de puissance en période de pointe. Une forte augmentation du coût de l'énergie, mais surtout une baisse substantielle du coût d'acquisition et d'installation des systèmes solaires sont des conditions sine qua non au succès futur de cette technologie. C'est l'avenir, mais un avenir qui semble encore loin.

Hydro-Québec

Si les économies d'énergie sont modestes pour le client, elles le sont aussi du point de vue d'Hydro-Québec et l'installation d'un système solaire ne saurait faire l'objet d'une aide suffisante pour inciter un nombre significatif de clients résidentiels à investir dans cette technologie.

La technologie et les fournisseurs

Au point de vue de la technologie, on peut affirmer que les systèmes sont bien conçus et relativement bien adaptés au climat québécois. Par contre, il serait avantageux de mieux isoler l'arrière des panneaux, du moins lorsque les panneaux solaires ne sont pas adossés à la toiture.

4 <http://www.aee.gouv.qc.ca/innovation-technologique/chauffe-eau-solaires-domestiques/>

5 www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/CES_guide_detaille-final.pdf

6 Agence de Développement et de Maîtrise de l'Énergie.

7 Le journal des énergies renouvelables, N° 191 – 2009, pp 50-52.



ARTICLE TECHNIQUE (SUITE)

Deux problèmes majeurs sont à soulever :

- le projet a permis de constater une certaine lacune au niveau du scellement des capteurs plats vitrés. Les fortes variations de température typiques au Québec ont un impact sur la performance à long terme des systèmes solaires;
- aucun des fournisseurs n'a fourni de solution satisfaisante quant au fonctionnement des systèmes solaires en absence prolongée de soutirage d'eau chaude et de dégradation conséquente du glycol du circuit caloporteur.

PERSPECTIVE: INSTALLATION VERTICALE?

Les résultats de cette étude ont conduit à une réflexion particulière sur la pertinence de placer systématiquement les capteurs solaires à plat sur les toitures. Peu de maison ont une toiture à forte pente au Québec, et cette façon de faire a plusieurs inconvénients :

- accumulation de neige durant l'hiver;
- angle d'incidence peu favorable durant l'hiver;
 - d'où peu d'impact lors de la période la plus intéressante pour HQ;
- trop forte contribution solaire durant l'été;
 - d'où saturation probable du réservoir (même en consommant de l'eau chaude);
 - d'où dégradation du caloporteur au glycol;
- aggravation du problème d'infiltration d'eau;
 - d'où diminution graduelle du rendement (dépôt de calcaire);
- mauvaise accessibilité et interventions risquées pour le propriétaire;
- installation coûteuse;
- perforation du bardeau et de la toiture pour la fixation des panneaux;
- interventions coûteuses lors du remplacement du bardeau de toit;
- refroidissement nocturne plus intense (le capteur voit le « ciel » très froid);
- longues conduites entre le sous-sol et le toit, d'où pertes thermiques.

La solution d'utiliser un support pour placer les capteurs avec un angle plus prononcé a des inconvénients de nature esthétique et pratique: le dos des capteurs est exposé aux vents, ce qui augmente les pertes et requiert une fixation plus robuste au toit pour résister aux vents.

Tous ces inconvénients ont conduit à réfléchir à une alternative. Pourquoi ne pas installer les capteurs à la verticale sur un mur extérieur, à la hauteur du rez-de-chaussée?

Les avantages d'une installation verticale seraient multiples:

- pas d'accumulation de neige
- moins de problèmes d'infiltration d'eau et moins de dépôt de calcaire sur la vitre;
- apport maximal lors de l'hiver, d'où intérêt et aide financière accrue d'Hydro-Québec;
- peu de chances de saturation thermique du réservoir pendant l'été;
- accessibilité accrue, permettant de recouvrir les capteurs lors de vacances;
- moins de chances d'une dégradation du mélange glycol-eau du circuit caloporteur;
- utilisation d'un réservoir standard de 60 gallons plutôt que 80 gallons, plus cher;
- forte réflexion du rayonnement solaire par le couvert de neige;
- interventions d'entretien faciles et non risquées;
- refroidissement nocturne réduit;
- longueur de conduites de caloporteur réduites, d'où moins de pertes;
- moins de pertes par le dos du panneau;
- coûts d'installation et d'intervention moindres.

Les technologies émergentes de préchauffage de l'air pour les résidences utilisent déjà cette approche. À notre avis, cette approche, mieux adaptée à notre climat et à nos besoins, devrait aussi être appliquée aux systèmes solaires de chauffage de l'eau domestique.

Normand Bédard, Marie-Andrée Leduc, Chercheurs
Laboratoire des Technologies de l'Énergie d'Hydro-Québec (LTE)
bedard.normand@lte.ireq.ca
leduc.marie-andree@lte.ireq.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



RIGUEUR ET AUDACE
EN INGÉNIERIE

PIERRE GIRARD
Vice-président – Bâtiment

4655, boulevard Wilfrid-Hamel
Québec (Québec) G1P 2J7
Tél.: 418 871-3414, poste 5525
Télex.: 418 871-9549
Cell.: 418 802-4688
pierre.girard@bpr.ca
www.bpr.ca



Daneau
Chauffage et
Climatisation
inc.

Tél.: (418) 833. 7700
Fax: (418) 833. 7706

4605, boul. de la Rive-Sud
Lévis, Québec
G6W 1H5