



Solutions de chauffage adaptées aux églises et autres bâtiments à vocation spéciale

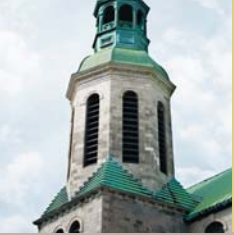
*Document de référence à l'intention des professionnels
et des responsables de la gestion de l'énergie*

Le présent document n'est fourni qu'à titre de référence.
Hydro-Québec se dégage de toute responsabilité quant
à la portée de son application.



Table des matières

1. Sommaire	4
2. Objectifs	6
3. Notions tarifaires de base en électricité	8
4. L'abaissement de la température	10
5. Le chauffage central	11
5.1 Le chauffage au mazout	11
5.2 Le chauffage électrique	11
5.2.1 La puissance du système et les besoins de chauffage	11
5.2.2 Le chauffage à pleine puissance	12
5.2.3 Le chauffage à puissance réduite	13
5.3 Le mode hybride	15
5.3.1 Calcul de la puissance et des économies	15
5.3.2 Modifications à apporter aux systèmes	17
5.4 Le chauffage central en bref	19
6. Le chauffage infrarouge	20
7. Les thermopompes	21
7.1 La thermopompe standard ou air-air	21
7.2 La thermopompe géothermique	22
8. Autres solutions de chauffage complémentaires	24
9. L'enveloppe thermique	25
9.1 L'infiltrométrie et la thermographie	25
9.2 L'isolation du bâtiment	25
Annexes	
A. Sondage – Le confort à l'église à 10 °C et à 15 °C	29
B. Table de conversion du combustible en kilowattheures équivalents	30
C. Calcul de la puissance d'un système de chauffage électrique	31
D. Le mode hybride en détail	32
E. Configurations de chaudières en mode hybride	34
F. Les détails sur la géothermie	40
G. Admissibilité des presbytères au tarif DT	42



1. Sommaire

Le chauffage représente près de 85 % de l'énergie consommée par les églises. Il faut donc trouver des solutions adéquates pour réduire la consommation d'énergie qui y est associée et, par conséquent, la facture énergétique.

Dans cet ordre d'idées, tous les moyens qui permettent une saine gestion de l'énergie peuvent être envisagés :

- diviser le réseau de distribution d'eau en différentes zones pour éviter de chauffer la totalité du bâtiment dans le cadre d'activités données (une partie de cartes au sous-sol, par exemple) ;
- calfeutrer les fuites d'air ;
- moderniser le système de chauffage à mazout.

Ce document de référence présente une analyse des meilleures options de chauffage en tenant compte du prix de l'énergie en vigueur en 2006, de l'efficacité des systèmes de chauffage habituellement utilisés dans les églises et des technologies émergentes en matière de chauffage d'appoint.

Ce qui est recommandé

Chauffage central

Les grandes églises – qui consomment plus de 200 000 kWh par année pour le chauffage – devraient opter, autant que possible, pour le mode hybride, c'est-à-dire l'électricité comme source d'énergie principale et le mazout comme source d'appoint en périodes de froid. Quant à celles dont la consommation se situe entre 150 000 et 200 000 kWh, elles devraient simplement réduire la puissance de leur système de chauffage électrique et maintenir la température ambiante constante.

Les plus petits bâtiments – qui consomment 100 000 kWh et moins – devraient utiliser uniquement l'électricité tout en limitant la puissance de leur système de chauffage à 50 kW ou moins, selon les besoins.

Tableau 1 – Coût moyen du kWh calculé selon différentes options de gestion du chauffage

Consommation annuelle liée au chauffage (kWh)	Coût moyen du kWh – Pleine puissance	Coût moyen du kWh – Puissance réduite	Coût moyen du kWh – Mode hybride (y compris le mazout)	Coût moyen du kWh équivalent – 70 ¢ le litre de mazout avec un système d'une efficacité de 65 %	À moins de ..., le coût sera équivalent en mode hybride.
450 000	0,122 \$	0,095 \$	0,086 \$	0,10 \$	0,61 \$/litre
400 000	0,122 \$	0,101 \$	0,084 \$	0,10 \$	0,59 \$/litre
350 000	0,122 \$	0,097 \$	0,082 \$	0,10 \$	0,57 \$/litre
300 000	0,122 \$	0,093 \$	0,079 \$	0,10 \$	0,55 \$/litre
250 000	0,115 \$	0,088 \$	0,077 \$	0,10 \$	0,54 \$/litre
200 000	0,105 \$	0,079 \$	0,072 \$	0,10 \$	0,51 \$/litre
150 000	0,090 \$	0,070 \$	0,070 \$	0,10 \$	0,49 \$/litre
100 000	0,070 \$	0,070 \$	0,070 \$	0,10 \$	0,49 \$/litre
50 000	0,070 \$	0,070 \$	0,070 \$	0,10 \$	0,49 \$/litre



Conjointement à ces mesures d'optimisation du système de chauffage, il est recommandé d'abaisser la température de l'église à 13 °C en tout temps et d'utiliser un système de chauffage d'appoint durant les offices. Parmi les technologies actuelles, l'infrarouge est celle qui est la plus simple et la moins coûteuse tant sur le plan du prix d'achat que sur le plan de l'utilisation. Cependant, les lampes ne sont pas très esthétiques.

Les travaux d'amélioration de l'enveloppe thermique des bâtiments (isolation, calfeutrage, remplacement de fenêtres, etc.), qui nécessitent l'utilisation d'échafaudages ou d'installations similaires, devraient être entrepris en même temps que d'autres projets de rénovation. Toutefois, le recours à des bénévoles devrait être favorisé pour en optimiser la rentabilité.

Les clients qui souscrivaient au tarif BT (abrogé depuis avril 2006) ont le droit acquis de conserver deux coffrets de branchement électriques à la même tension dans un même bâtiment, ce qui est avantageux.

Ce qui n'est pas recommandé

Compte tenu du prix élevé du mazout et de la faible efficacité énergétique des systèmes, le recours au mazout ne constitue pas une solution avantageuse pour les églises qui consomment 100 000 kWh et moins.

L'optimisation de l'efficacité énergétique de l'enveloppe thermique des églises du Québec représente un défi important. Non seulement la plupart des éléments (fondations, murs extérieurs, toit) sont peu ou pas isolés, mais ils sont également difficiles à améliorer. Pour repérer les fuites d'air, les spécialistes en efficacité énergétique des bâtiments devraient se limiter à une inspection visuelle. En effet, l'utilisation des méthodes d'infiltrométrie et de thermographie s'avère :

- . complexe, voire impossible ;
- . relativement coûteuse ;
- . souvent inutile, car les déficiences constatées ne peuvent être corrigées.

De plus, compte tenu des essais réalisés et de la particularité de leur profil de consommation, les églises n'ont généralement pas intérêt à regrouper leurs coffrets de branchement électriques.

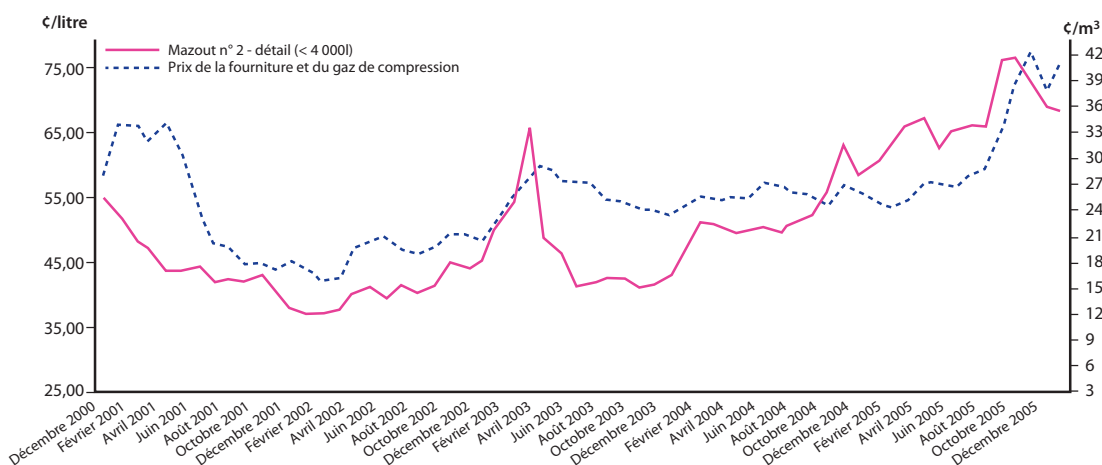


2. Objectifs

En raison du contexte énergétique actuel au Québec, le présent document vise à faciliter la prise de décision en matière de chauffage dans les lieux de culte en fonction :

- des technologies disponibles ;
- du prix des combustibles ;
- de l'efficacité des systèmes à combustible ;
- de la consommation d'énergie ;
- des tarifs d'Hydro-Québec.

Évolution du prix des combustibles



Pour faire un choix éclairé, vous devez connaître :

- la consommation annuelle (en kWh) de votre bâtiment (voir l'annexe B pour les détails relatifs à la conversion) ;
- l'efficacité saisonnière de votre système à combustible, qui est d'environ 10 % inférieure à son efficacité instantanée (consultez votre chauffagiste).

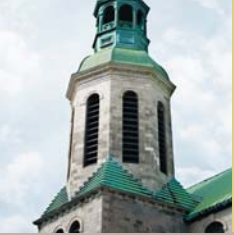


Dans les tableaux qui appuient cette analyse, une consommation donnée en kWh est associée à une puissance spécifique du système de chauffage. Cette relation directe entre la consommation et la puissance est techniquement correcte. Vérifiez votre système. Si la puissance excède la limite indiquée, elle devrait être abaissée. Pour faciliter la compréhension, le code de couleurs suivant a été adopté :

- gris pour le mazout ;
- bleu « poudre » pour l'électricité ;
- or pour le tarif M ;
- bleu « aqua » pour le tarif G.

Les coûts d'énergie ne comprennent ni la redevance d'abonnement ni les taxes, et le prix moyen du kWh au tarif G a été fixé à 7 ¢.

Le présent document traite également des aspects techniques à prendre en compte au moment de la modification d'un système de chauffage. Pour prendre une décision éclairée, vous devez considérer l'évolution des prix des différentes sources d'énergie, l'état de vos équipements et le coût des modifications. L'annexe B fournit la méthode de calcul des litres de mazout en kilowattheures équivalents.



3. Notions tarifaires de base en électricité

Comme le présent document porte sur la consommation d'énergie et les coûts qui y sont associés, certaines notions tarifaires ont été définies.

Puissance et énergie

La puissance s'exprime en kilowatts (kW). Elle correspond à l'ensemble des charges électriques alimentées par une installation. Dans un bâtiment, elle varie à chaque instant, selon la mise en marche ou l'arrêt des appareils.

L'énergie s'exprime en kilowattheures (kWh). C'est la somme des kilowatts appelés pendant une période donnée.

Tarifs applicables

Il existe différents types de tarifs. Toutefois, seuls les tarifs G et M ont été pris en compte dans le présent document parce qu'ils sont potentiellement les plus avantageux pour les églises.

Tarif G (en vigueur au 1^{er} avril 2006)

Puissance entre 0 et 100 kW

Le tarif G est établi en fonction d'une période de 30 jours. Les frais de puissance s'appliquent uniquement si la puissance excède 50 kW.

	Alimentation monophasée	Alimentation polyphasée (tarif BT)
Redevance d'abonnement	12,33 \$ (30 jours)	36,99 \$
Frais de puissance	15 \$/kW	
Frais d'énergie		
Les 15 100 premiers kWh	8,30 ¢/kWh	
Le reste de l'énergie consommée	4,20 ¢/kWh	

Le tarif G implique une puissance minimale à facturer, soit la puissance appelée pendant la période visée ou 65 % de la puissance maximale appelée entre le 1^{er} décembre et le 31 mars. Il s'agit d'un montant minimal à payer chaque mois (même en été) calculé en fonction de la puissance qui a été appelée l'hiver précédent (si celle-ci dépasse 76 kW).

Tarif M

Puissance entre 100 et 5 000 kW

Le tarif M est établi en fonction d'une période de facturation de 30 jours.

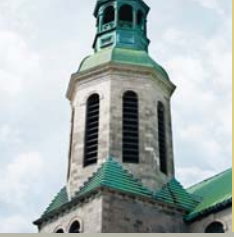
Frais de puissance	
Puissance à facturer	13,08 \$/kW
Prime de dépassement	14,01 \$/kW*
*Majoration appliquée durant les mois d'hiver (du 1 ^{er} décembre au 31 mars) aux kilowatts (puissance à facturer) qui excèdent 133 1/3 % de la puissance souscrite.	
Frais d'énergie	
Les 210 000 premiers kWh	4,20 ¢/kWh
Le reste de l'énergie consommée	2,74 ¢/kWh



Le client doit opter pour une puissance souscrite d'au moins 100 kW, qui lui est facturée chaque mois, et la conserver pendant au moins douze mois consécutifs.

Selon la réglementation tarifaire en vigueur, il est possible qu'une église puisse être assujettie au tarif domestique si le presbytère qui y est attenant utilise le même système de chauffage (voir l'annexe G).

Note : Les tableaux présentés à la page 8 ne sont fournis qu'à titre indicatif. Le document intitulé *Tarifs et conditions du Distributeur* prévaut en tout temps. Pour plus de détails sur les tarifs d'électricité, vous pouvez consulter ce document en ligne, au www.hydroquebec.com/publications.



4. L'abaissement de la température

De façon générale, l'abaissement de la température ambiante des églises et autres bâtiments similaires génère des économies d'énergie. On peut ainsi obtenir une économie de $\pm 5\%$ pour chaque degré Celsius en moins. L'église Sacré-Cœur-de-Jésus du diocèse de Montréal a réalisé une économie d'énergie de près de 40 % à l'hiver 2005-2006 en abaissant la température ambiante de 17 °C à 10 °C (le presbytère et le sous-sol étaient maintenus à 20 °C).

Le confort du bâtiment à 13 °C

Pour éviter d'endommager l'orgue, le plâtre et les œuvres d'art, il est recommandé de ne pas maintenir la température en deçà de 13 °C. Une température de 13 °C en tout temps serait acceptable.

Selon les experts consultés, ce sont les variations de température qui ont un effet néfaste sur le bâtiment. Elles entraînent des variations du taux d'humidité ; en raison de ces variations, l'humidité affecte les matériaux (expansion), comme le bois, le cuivre. En hiver, un taux d'humidité de moins de 40 % est donc souhaitable. Vous trouverez les avis d'experts à ce sujet sur le site Internet de l'Assemblée catholique des évêques du Québec au www.eveques.qc.ca.

Le confort des occupants

Le niveau de confort varie selon chaque personne, et le taux d'humidité influence le confort ainsi que la température. Plus c'est humide, moins c'est confortable, et ce, été comme hiver. En général, les églises ne sont pas humides ($\pm 30\%$). En hiver, sans chauffage local (voir la section sur l'infrarouge), on estime qu'une température de 15 °C ou 16 °C devrait convenir puisque les gens portent bottes et manteaux. Toutefois, il semble :

- que le consensus soit difficile, certaines personnes étant confortables à 22 °C, d'autres, à 10 °C ;
- qu'il soit préférable d'expliquer les raisons du changement à la clientèle visée pour lui faire accepter plus facilement.

Un questionnaire a été distribué à des paroissiens de l'église Sacré-Cœur-de-Jésus pour valider ces conclusions. Le sommaire de cette étude figure à l'annexe A.



5. Le chauffage central

5.1 Le chauffage au mazout

Pour estimer le coût du chauffage au mazout (ou au gaz), il faut considérer le prix du combustible et l'efficacité du système de chauffage. Avec les combustibles, il est impossible d'obtenir une efficacité de 100 %. Votre spécialiste en chauffage pourra déterminer l'efficacité instantanée et l'efficacité saisonnière (de près de 10 % inférieure à l'efficacité instantanée) de votre système à combustion. Pour en savoir plus sur la conversion d'un mode de chauffage à l'autre, reportez-vous à l'annexe B.

Tableau 2 – Coût moyen du kWh en fonction des différentes options de gestion du chauffage

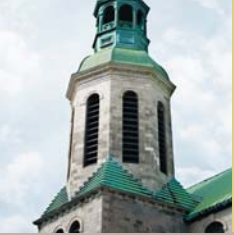
Consommation d'électricité (kWh)		450 000	400 000	350 000	300 000	250 000	200 000	150 000	100 000	50 000
		Litres	Litres	Litres	Litres	Litres	Litres	Litres	Litres	Litres
Efficacité saisonnière de 65 %	\$/litre	64 128	57 002	49 877	42 752	35 626	28 501	21 376	14 251	7 125
Prix du mazout	0,50	32 063 \$	28 501 \$	24 938 \$	21 375 \$	17 813 \$	14 250 \$	10 687 \$	7 125 \$	3 562 \$
	0,60	38 476 \$	34 201 \$	29 926 \$	25 651 \$	21 375 \$	17 100 \$	12 825 \$	8 550 \$	4 275 \$
	0,70	44 889 \$	39 901 \$	34 913 \$	29 926 \$	24 938 \$	19 950 \$	14 963 \$	9 975 \$	4 98 \$
	0,80	51 302 \$	45 601 \$	39 901 \$	34 201 \$	28 501 \$	22 800 \$	17 100 \$	11 400 \$	5 700 \$
	0,87	55 791 \$	49 592 \$	43 393 \$	37 194 \$	30 995 \$	24 796 \$	18 597 \$	12 398 \$	6 199 \$
Efficacité saisonnière de 60 %	\$/litre	69 472	61 753	54 033	46 314	38 595	30 876	23 157	15 438	7 719
Prix du mazout	0,50	34 735 \$	30 876 \$	27 016 \$	23 157 \$	19 297 \$	15 438 \$	11 578 \$	7 719 \$	3 860 \$
	0,60	41 682 \$	37 051 \$	32 420 \$	27 788 \$	23 157 \$	18 525 \$	13 894 \$	9 262 \$	4 631 \$
	0,70	48 630 \$	43 226 \$	37 823 \$	32 420 \$	27 016 \$	21 613 \$	16 210 \$	10 806 \$	5 403 \$
	0,80	55 577 \$	49 402 \$	43 226 \$	37 051 \$	30 876 \$	24 701 \$	18 525 \$	12 350 \$	6 175 \$
	0,87	60 440 \$	53 724 \$	47 009 \$	40 293 \$	33 577 \$	26 862 \$	20 146 \$	13 431 \$	6 716 \$
Efficacité saisonnière de 50 %	\$/litre	83 366	74 103	64 840	55 577	46 314	37 052	27 789	18 526	9 263
Prix du mazout	0,50	41 682 \$	37 051 \$	32 420 \$	27 788 \$	23 157 \$	18 525 \$	13 894 \$	9 262 \$	4 631 \$
	0,60	50 019 \$	44 461 \$	38 904 \$	33 346 \$	27 788 \$	22 230 \$	16 673 \$	11 115 \$	5 558 \$
	0,70	58 356 \$	51 872 \$	45 388 \$	38 904 \$	32 420 \$	25 936 \$	19 452 \$	12 968 \$	6 484 \$
	0,80	66 692 \$	59 282 \$	51 872 \$	44 461 \$	37 051 \$	29 641 \$	22 230 \$	14 820 \$	7 410 \$
	0,87	72 528 \$	64 469 \$	56 410 \$	48 352 \$	40 293 \$	32 234 \$	24 176 \$	16 117 \$	8 059 \$

Note : L'investissement nécessaire à la réfection de la chambre à combustion et du brûleur aux fins de l'optimisation du système de chauffage peut être amorti rapidement.

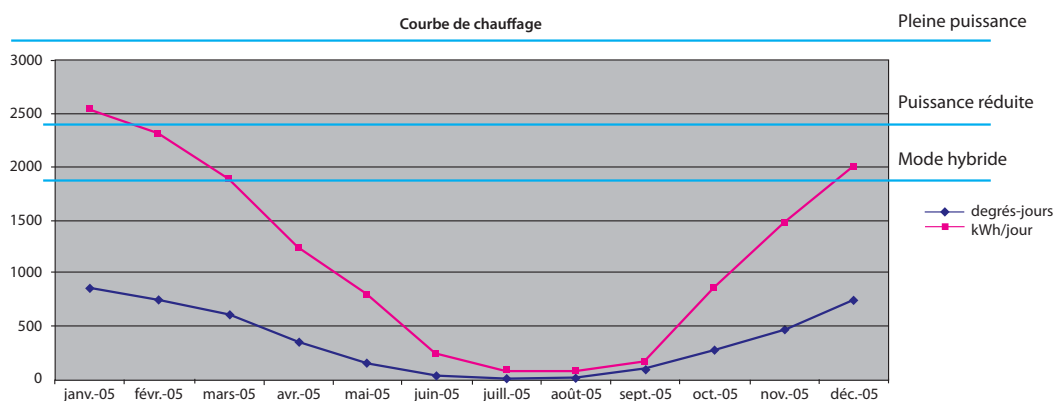
5.2 Le chauffage électrique

5.2.1 La puissance du système et les besoins de chauffage

Au Québec, la rigueur du climat impose le chauffage l'hiver, et ce, même si les bâtiments sont inoccupés, car autrement, ils se détériorent. Les besoins de chauffage sont basés sur les degrés-jours. Ces données sont cumulées par les services de météorologie de la même manière que la température ou les millimètres de pluie. Dans le graphique ci-dessous, la courbe bleue représente les degrés-jours pour l'année 2005 et la courbe rose, les kWh consommés par un client durant la même période. Il est normal que ces courbes aient la même forme.



- On entend par « pleine puissance » d'un système de chauffage une puissance suffisante pour chauffer en périodes de grands froids et pour abaisser et hausser la température même par temps froid.
- La réduction de la puissance du système de chauffage ne permet pas de faire varier la température ambiante. Ainsi, en périodes de grands froids, il ne sera plus possible de hausser la température ambiante, et ce, tant en semaine que les fins de semaine.
- De même, si on abaisse davantage la puissance, le système de chauffage électrique ne suffira pas à répondre aux besoins annuels, plus spécifiquement durant les pointes de froid ; il faudra alors avoir recours à un autre système de capacité supérieure (à combustible, par exemple) dont la puissance n'aura pas été réduite.



Pleine puissance

Le système électrique comble l'ensemble des besoins de chauffage, voire plus.

Puissance réduite

Le système électrique comble tout juste les besoins de chauffage.

Mode hybride

Le système électrique comble une partie des besoins de chauffage et le système à combustible, le reste.

5.2.2 Le chauffage à pleine puissance

On peut établir la puissance nécessaire à un système de chauffage électrique en fonction des kilowattheures consommés durant l'année (l'hiver). Cette puissance est amplement suffisante pour combler les besoins de chauffage. La puissance de votre système de chauffage devrait figurer dans la deuxième colonne du tableau ci-dessous en fonction de votre consommation 2004-2005. Une estimation du coût de votre facture d'électricité calculée au tarif G ou M selon la réglementation tarifaire en vigueur en 2006 y est aussi indiquée. Le détail du calcul de la puissance de chauffage est présenté à l'annexe C.



Tableau 3 – Coût de la facture énergétique en fonction de la consommation d'énergie annuelle

Chauffage électrique					
Consommation annuelle (kWh)	Puissance du système (kW)	Facturation de la puissance	Facturation des kWh	Coût total	Prix moyen du kWh (y compris la puissance)
450 000	230	36 176 \$	18 900 \$	55 076 \$	0,12 \$
400 000	205	32 156 \$	16 800 \$	48 956 \$	0,12 \$
350 000	179	28 137 \$	14 700 \$	42 837 \$	0,12 \$
300 000	154	24 117 \$	12 600 \$	36 717 \$	0,12 \$
250 000	128	11 139 \$	17 500 \$	28 639 \$	0,11 \$
200 000	102	7 068 \$	14 000 \$	21 068 \$	0,11 \$
150 000	77	3 073 \$	10 500 \$	13 573 \$	0,09 \$
100 000	51	–	7 000 \$	7 000 \$	0,07 \$
50 000	26	–	3 500 \$	3 500 \$	0,07 \$

Tarif M – 0,042 \$/kWh

Tarif G – 0,07 \$/kWh

On constate qu'une consommation de l'ordre de 450 000 kWh devrait correspondre à une puissance de chauffage électrique de 230 kW. De plus, les factures énergétiques (électricité et mazout) seraient semblables si l'efficacité saisonnière du système était de 65 % et le prix du mazout, de 87 ¢ le litre (voir le tableau 2).

Les coûts d'énergie sont élevés et vont croissant. En tirant parti du fait que deux systèmes de chauffage (l'un utilisant l'électricité et l'autre, le combustible) sont fonctionnels, différents scénarios permettant de réduire les coûts d'énergie ont été étudiés.

5.2.3 Le chauffage électrique à puissance réduite

La réduction de la puissance à facturer permet de diminuer la facture d'électricité. Si la puissance indiquée dans le tableau 3 est largement suffisante, il faut établir la puissance requise pour répondre aux besoins de chauffage sans qu'il soit possible d'abaisser et de hausser la température par la suite.

L'abaissement de la puissance de chauffage (en « étrangler » le système) ne laisse place à aucune souplesse en saison froide. Il faut alors déterminer la température de consigne du « thermostat de pièce » à l'automne et la maintenir tout au long de l'hiver. Il est en effet plus facile pour le système de chauffage de combattre les pertes de chaleur par les murs, par le plafond et par les vitres en maintenant la température à 15 °C, par exemple, que de hausser la température ambiante de 15 °C à 20 °C en janvier.

Pour déterminer la puissance, nous considérons la consommation d'énergie pour un mois de l'hiver précédent et évaluons quelle puissance, utilisée dans une proportion de 80 %, permet de fournir ces kWh. Or, généralement, la puissance ainsi établie équivaut à 66 % de la puissance fixée par l'ASHRAE*, la bible en matière de chauffage. La puissance réduite devrait donc permettre de combler l'ensemble des besoins de chauffage en hiver **sans modifier le point de consigne de la température de la pièce**. Le système à combustible sera mis à contribution pour répondre aux besoins ponctuels de puissance, par exemple, la reprise des activités après une panne d'électricité prolongée en saison froide.

*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

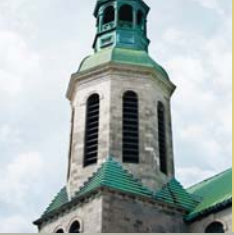


Tableau 4 – Effet de la réduction de la puissance sur la facture d'électricité

Consommation annuelle (kWh)	Puissance du système de chauffage électrique		Coût moyen du kWh	Total de la facture d'électricité	Une économie de
	Actuelle	Réduite			
	kW	kW			
450 000	230	152	0,095 \$	42 777 \$	22 %
400 000	205	135	0,101 \$	40 485 \$	17 %
350 000	179	118	0,097 \$	34 053 \$	20 %
300 000	154	101	0,093 \$	27 997 \$	24 %
250 000	128	85	0,088 \$	21 989 \$	23 %
200 000	102	68	0,079 \$	15 872 \$	25 %
150 000	77	51	0,070 \$	10 500 \$	23 %
100 000	51	34	0,070 \$	7 000 \$	0 %
50 000	26	17	0,070 \$	3 500 \$	0 %

Tarif M – 0,042 \$/kWh

Tarif G – 0,07 \$/kWh

Avec un système de chauffage tout électrique à puissance réduite

On peut réaliser des économies intéressantes en abaissant la puissance du système, sauf pour les établissements dont la consommation annuelle est peu élevée et la puissance, de 50 kW ou moins. Dans ces cas, il n'y a pas d'économie parce que la puissance n'est pas facturée (au tarif G, avril 2006) jusqu'à 50 kW.

Sur le plan technique, cette option (système tout électrique avec puissance réduite) est simple : il n'y a qu'à débrancher des éléments. Toutefois, afin que l'hypothèse financière se concrétise, le système de chauffage doit être hors fonction de juin à septembre inclusivement.

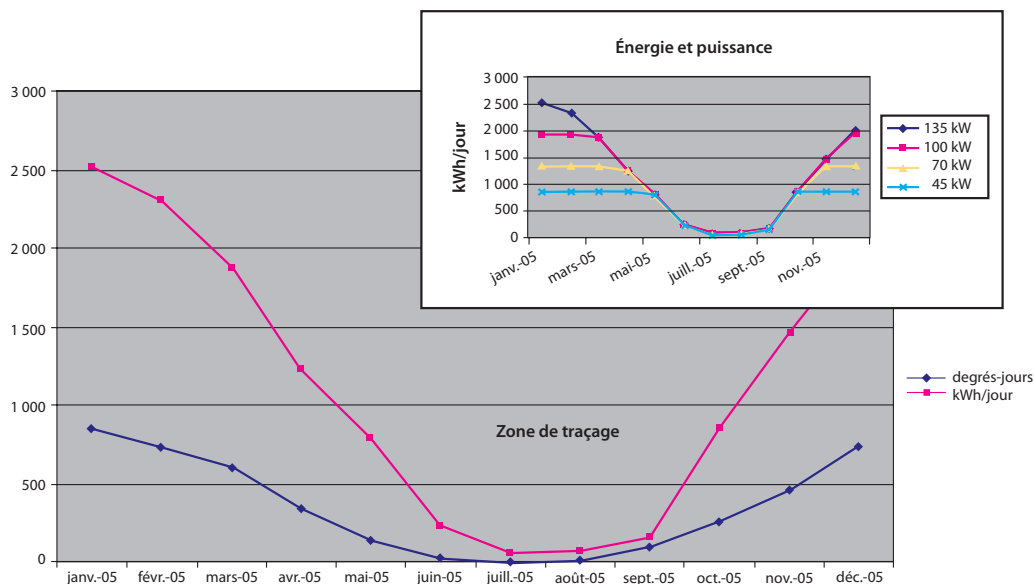


5.3 Le mode hybride

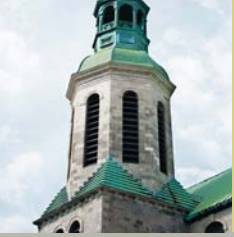
Puisque la réduction de la puissance de la chaudière électrique a un impact significatif sur la facture, cette puissance a été abaissée encore plus et le mazout a été utilisé pour compenser. L'utilisation des deux systèmes permet donc d'optimiser les coûts de chauffage. Le système à combustible prend automatiquement le relais durant les périodes froides lorsque la puissance du système électrique est insuffisante pour répondre aux besoins de chauffage. Un « thermostat à deux stages » peut être utilisé pour contrôler les systèmes.

5.3.1 Calcul de la puissance et des économies

Graphique 1



- Comme l'illustre le graphique ci-dessus, les besoins d'énergie sont plus grands en hiver compte tenu du chauffage. En médaillon, un autre graphique montre des courbes de consommation d'électricité associées à un client consommant normalement 400 000 kWh, qui déciderait de réduire davantage la puissance de son système.
- Plus la puissance est réduite, plus l'utilisation du mazout sera grande.
- On entend par mode hybride l'utilisation de deux systèmes de chauffage en série, reliés par un dispositif de contrôle.
- On note que la réduction des premiers 35 kW ($35/135 = 25\%$) n'a pratiquement aucun effet sur la courbe d'énergie ; l'électricité couvre 92 % des besoins de chauffage.



- Le prix du mazout ainsi que l'efficacité saisonnière du système à mazout ont un impact déterminant sur la décision de réduire la puissance de 25 % ou de 45 %. Si l'efficacité du système à mazout est de 65 % plus et que le prix du mazout se limite à 70 ¢, on devrait réduire la puissance de 45 % ; par contre, si le système à mazout est moins performant ou que le prix du mazout est plus élevé, on n'abaisserait la puissance du système électrique que de 25 % pour minimiser le recours au mazout (voir l'annexe D pour plus de détails).

La meilleure option consiste donc à abaisser la puissance de 25 à 45 %.

Tableau 5 – Mode hybride

Consommation annuelle (kWh)	Mode hybride (électricité et combustible)											
	Puissance du système de chauffage électrique		Réduction de 25 à 45 %					Puissance visée		Système à mazout d'une efficacité de 65 %		
	Actuelle	Réduite	de	à	kW	entre	et	kW	entre	et	litres	
450 000	230	152	38	68		114		84	5 103		14 079	
400 000	205	135	34	61		101		74	4 536		12 515	
350 000	179	118	30	53		89		65	3 969		10 951	
300 000	154	101	25	46		76		56	3 402		9 386	
250 000	128	85	21	38		63		50	2 835		7 822	
200 000	102	68	17	30		51		50	2 268		2 268	
150 000	77	51	13	23		50			–			
100 000	51	34	8	15					–			
50 000	26	17	4	8					–			

Tableau 6 – Mode hybride et facture d'énergie

Consommation annuelle (kWh)	Mode hybride													
	Puissance du système électrique – Réduite	Puissance visée		kWh fournis		Facture d'électricité (énergie et puissance)	Système à mazout d'une efficacité de 65 %				Total électricité et mazout	Économie		
		entre	et	entre	et		entre	et	litres	à 0,07 \$		Puissance réduite	Pleine puissance	Mazout à 0,70 \$ le litre Efficacité de 65 %
450 000	152	114	84	414 194	351 201	29 028 \$	5 103	14 079	9 855 \$	38 883 \$	9,1 %	29,4 %	13,4 %	
400 000	135	101	74	368 173	312 178	24 827 \$	4 536	12 515	8 760 \$	33 587 \$	17,0 %	31,4 %	15,8 %	
350 000	118	89	65	322 151	273 156	20 922 \$	3 969	10 951	7 665 \$	28 588 \$	16,0 %	33,3 %	18,1 %	
300 000	101	76	56	276 130	234 134	16 997 \$	3 402	9 386	6 570 \$	23 568 \$	15,8 %	35,8 %	21,2 %	
250 000	85	63	46	230 108	195 111	13 657 \$	2 835	7 822	5 475 \$	19 133 \$	13,0 %	33,2 %	23,3 %	
200 000	68	51	50	184 086	184 086	12 886 \$	2 268	2 268	1 587 \$	14 473 \$	8,8 %	31,3 %	27,5 %	
150 000	51	50		150 000		10 500 \$				10 500 \$	–	22,6 %	29,8 %	
100 000	34			100 000		7 000 \$				7 000 \$	–	–	29,8 %	
50 000	17			50 000		3 500 \$				3 500 \$	–	–	29,8 %	

Tarif G – 0,07 \$/kWh

Les montants en gras ont été utilisés pour établir le coût de l'énergie.



Bref, on peut dire que le mode hybride :

- ne présente aucun avantage pour les clients dont la consommation est de 150 000 kWh et moins ;
- **est avantageux pour les clients consommant plus de 200 000 kWh.**

Un client type qui consomme 400 000 kWh paierait donc 33 587 \$ chaque année (électricité et mazout) s'il opte pour le mode hybride contre 48 956 \$ en frais d'électricité ou 39 901 \$ en frais de mazout (à un coût unitaire de 70 ¢, avec un système dont l'efficacité est de 65 %).

5.3.2 Modifications à apporter aux systèmes

Le recours au mode hybride nécessite toutefois des modifications au système de contrôle des chaudières existantes, qui doit être adapté en conséquence. Les chaudières des systèmes électrique et à mazout étant généralement installées en série, cette configuration est parfaitement adaptée au fonctionnement en mode hybride. Il faut faire appel à un spécialiste en chauffage pour effectuer les modifications recommandées ci-dessous.

On mesure le courant de chacun des éléments de la chaudière électrique à l'aide d'un ampèremètre pour s'assurer qu'ils fonctionnent. On sélectionne les éléments de manière que le total soit compris dans la plage visée, tel qu'indiqué dans le tableau 6 en période d'hiver (entre le 1^{er} décembre et le 31 mars). Pour tirer le maximum de la réglementation tarifaire en vigueur, il faut s'assurer de limiter la puissance à 50 kW en dehors des mois d'hiver ou de mettre le système hors fonction.



Figure 5 : Mesure du courant de la chaudière électrique

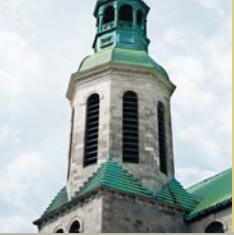


Figure 6 :
Blocs de fusibles et contacteurs de la chaudière électrique
Les fusibles du quatrième élément ont été retirés.

Pour certains modèles, il est possible de limiter la puissance appelée en désactivant des éléments électriques à l'aide de commutateurs (voir la figure 7 ci-dessous) intégrés à la chaudière. Pour d'autres, il faut retirer des fusibles. Par la suite, le contrôle sélectionné – un « thermostat à deux stages », par exemple (voir la figure 8) – actionnera le système électrique ; si après un certain temps, la température de consigne n'est pas atteinte, le thermostat fera appel au système à combustible.



Figure 7 :
Panneau de contrôle d'une chaudière électrique pour laquelle on a limité la puissance maximale à 70 kW en désactivant les éléments électriques



Figure 8 :
« Thermostat à deux stages »

Dans le cas d'un système à eau chaude (hydronique), les deux chaudières peuvent fonctionner simultanément ; dans le cas des systèmes à air chaud, elles doivent fonctionner en alternance pour éviter d'atteindre une haute limite de température dans le plénum du système du chauffage. Pour plus de détails, consultez l'annexe E.

5.4 Le chauffage central en bref

En résumé, vous pourriez, selon votre consommation, soit opter pour le mode hybride, soit chauffer à l'électricité.

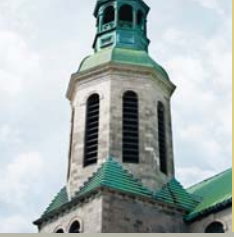
Tableau 7 – Comparaison de prix de l'énergie en fonction de différents modes de fonctionnement

Consommation annuelle liée au chauffage (kWh)	Coût moyen du kWh – Pleine puissance	Coût moyen du kWh – Puissance réduite	Coût moyen du kWh – Mode hybride (y compris le mazout)	Coût moyen du kWh équivalent – 0,07 \$ le litre de mazout et système d'une efficacité de 65 %	À moins de ..., le coût sera équivalent en mode hybride.
450 000	0,122 \$	0,095 \$	0,086 \$	0,10 \$	0,61 \$/litre
400 000	0,122 \$	0,101 \$	0,084 \$	0,10 \$	0,59 \$/litre
350 000	0,122 \$	0,097 \$	0,082 \$	0,10 \$	0,57 \$/litre
300 000	0,122 \$	0,093 \$	0,079 \$	0,10 \$	0,55 \$/litre
250 000	0,115 \$	0,088 \$	0,077 \$	0,10 \$	0,54 \$/litre
200 000	0,105 \$	0,079 \$	0,072 \$	0,10 \$	0,51 \$/litre
150 000	0,090 \$	0,070 \$	0,070 \$	0,10 \$	0,49 \$/litre
100 000	0,070 \$	0,070 \$	0,070 \$	0,10 \$	0,49 \$/litre
50 000	0,070 \$	0,070 \$	0,070 \$	0,10 \$	0,49 \$/litre

Consommation annuelle liée au chauffage (kWh)	Facture d'électricité – Pleine puissance	Facture d'électricité – Puissance réduite	Facture d'énergie – Mode hybride (électricité et mazout)	Facture de mazout – à 0,07 \$ le litre de mazout avec un système d'une efficacité de 65 %
450 000	55 077 \$	42 777 \$	38 700 \$	45 000 \$
400 000	48 957 \$	40 485 \$	33 600 \$	40 000 \$
350 000	42 837 \$	34 053 \$	28 700 \$	35 000 \$
300 000	36 718 \$	27 997 \$	23 700 \$	30 000 \$
250 000	28 640 \$	21 989 \$	19 250 \$	25 000 \$
200 000	21 068 \$	15 872 \$	14 400 \$	20 000 \$
150 000	13 573 \$	10 500 \$	10 500 \$	15 000 \$
100 000	7 000 \$	7 000 \$	7 000 \$	10 000 \$
50 000	3 500 \$	3 500 \$	3 500 \$	5 000 \$

Il est avantageux pour les églises qui consomment :

- plus de 200 000 kWh, d'opter pour le mode hybride (électricité et mazout) ;
- près de 150 000 kWh, de réduire uniquement la puissance de leur système électrique ;
- 100 000 kWh et moins, d'opter pour l'électricité et de souscrire au tarif G.



6. Le chauffage infrarouge

L'église Sacré-Cœur-de-Jésus du diocèse de Montréal est chauffée à 10 °C (ou 50 °F). Pour la rendre plus confortable durant les offices, on a installé un système de chauffage infrarouge, qui permet de hausser la température à 15 °C. Le chauffage infrarouge réchauffe directement les personnes, tout comme le soleil.



Le coût d'acquisition de l'installation dépend du nombre de lampes achetées et de la puissance désirée : il en coûte plus cher pour obtenir un confort optimal et une élévation de température de 10 °C (de 13 °C à 23 °C) que pour chauffer les quinze premiers bancs et augmenter la température de 6 °C (de 13°C à 19 °C).

L'infrarouge s'avère intéressant dans la mesure où il vient compenser la baisse de température (voir la section 4 « L'abaissement de la température ») dans l'église ; sinon, il engendre une dépense supplémentaire d'énergie. L'infrarouge peut aussi représenter une solution avantageuse pour accroître le confort dans les églises qui sont « froides » (dont l'enveloppe thermique ou le design du système de chauffage principal est mal conçu).

Les lampes infrarouges peuvent être combinées à n'importe lequel type de système de chauffage. Elles peuvent fonctionner au gaz ou à l'électricité. À l'électricité, quelques lampes infrarouges d'une puissance totale de 30 kW coûteront, au tarif G, (soit 8 ¢/kWh), 2,40 \$ l'heure si elles sont désynchronisées (*interlocked*) par rapport au système électrique.

Lorsque la technologie de l'infrarouge est jumelée à l'abaissement de la température, la récupération de l'investissement peut être assez rapide. On considère que le coût d'acquisition du système serait approximativement de :

1 lampe de 7,3 kW : 1 200 \$

4 lampes de 7,3 kW : 4 800 \$ (taxes et frais d'installation en sus)

L'église Sacré-Cœur-de-Jésus est située au 2000, rue Alexandre-de-Sève, à Montréal (près du pont Jacques-Cartier). Pour en savoir plus, vous pouvez joindre la paroisse au (514) 521-0095.



7. Les thermopompes

Les thermopompes ont la propriété de produire plus d'énergie qu'elles en consomment, que ce soit aux fins du chauffage ou de la climatisation.

Sur le marché, on trouve deux types de thermopompes :

- celles qui puisent l'énergie dans l'air, les thermopompe air-air ;
- celles qui puisent l'énergie dans le sol, les thermopompes géothermiques.

Pour les églises ou les bâtiments de grandes dimensions, la puissance requise pour combler la totalité des besoins de chauffage serait énorme et très coûteuse. Toutefois, si on décide d'utiliser une thermopompe pour satisfaire une partie des besoins de chauffage et de la jumeler à un système traditionnel, la période de récupération de l'investissement devient acceptable. Ainsi, après quelques années, une partie du chauffage ne « coûte rien ».

7.1 La thermopompe standard ou air-air

La plupart du temps dans l'année, la thermopompe donne un ratio de 2 pour 1 en matière d'énergie produite par rapport à l'énergie consommée. En d'autres termes, pour une unité d'énergie utilisée, elle produit deux unités de chauffage. Ce ratio s'amenuise avec l'augmentation du froid (à l'extérieur, l'hiver) pouvant atteindre jusqu'à 1 pour 1.

Données factuelles sur la thermopompe air-air

Deux thermopompes (de 5 tonnes) : $\pm 18\ 000$ \$, y compris un réseau sommaire de diffusion d'air
Durée de vie : 15 ans

Période de récupération de l'investissement (prix de l'électricité en vigueur en 2006) :

- petite église (consommant 100 000 kWh annuellement) : 7 ans
- église moyenne (consommant 200 000 kWh annuellement) : 5 ans

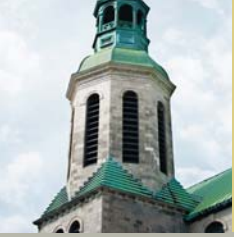
Pour plus de détails, consultez l'annexe F portant sur la géothermie. Le même principe a été appliqué, mais les ratios, la puissance et le prix ont été adaptés.

Avantages de la thermopompe air-air par rapport à la thermopompe géothermique :

- un coût d'acquisition moindre ;
- une plus grande simplicité d'installation.

Inconvénients :

- les bris plus fréquents ;
- un rendement énergétique moindre.



7.2 La thermopompe géothermique

La géothermie est une technologie qui permet de tirer profit de l'énergie emmagasinée dans le sol pour chauffer et climatiser les bâtiments. Cette énergie est non seulement naturelle et renouvelable, mais elle est aussi gratuite. Ainsi, 1 kW d'électricité combiné à 2 kW de chaleur provenant du sol produit 3 kW de chaleur (ce ratio est généralement atteint).

Située dans le diocèse de Sherbrooke, l'église Saint-Cajetan de Mansonville est dotée d'un système de géothermie qui a servi de point de départ à la présente analyse.



Systèmes de chauffage existants

- Système de chauffage à mazout
- Système de chauffage électrique à eau chaude : puissance limitée à 30 kW
- Thermopompe géothermique de 5 tonnes (église) : puissance de 5 kW ; 14,5 kWh produits
- Thermopompe géothermique de 3 tonnes (sous-sol) : puissance de 2,3 kW ; 6,1 kWh produits

L'église consomme environ 100 000 kWh par année. Le mazout n'a pas été pris en compte.

Aux fins de l'exercice théorique, on considère que les systèmes géothermiques assurent les besoins de chauffage de base et que le système électrique (à l'eau ou à l'air) est complémentaire.

À l'église Saint-Cajetan ou dans des églises similaires consommant environ 100 000 kWh par année, la thermopompe géothermique extraira 37 % de l'énergie du sol (soit 60 000 kWh) « gratuitement » et le reste de l'énergie, soit 63 %, sera mesurée par le compteur d'électricité.

- Il n'y a aucune économie de puissance (en deçà des 50 kW prévus selon la réglementation tarifaire), il n'y a qu'une économie de kWh.
- La période de récupération de l'investissement est d'environ neuf ans, mais peut varier en fonction du coût moyen de l'énergie.

Estimation 2006

Coût d'acquisition du système de géothermie (2006)

Thermopompe géothermique (5 tonnes)	12 000 \$
Thermopompe géothermique (3 tonnes)	10 000 \$
Puits de géothermie (150 pieds/tonne à 18 \$/pied) :	21 600 \$
	<hr/>
	43 600 \$

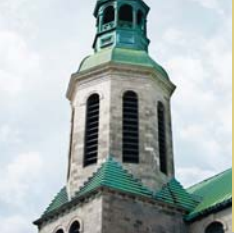


Dans une autre église consommant deux fois plus d'énergie que l'église Saint-Cajetan (soit 200 000 kWh/an), on suppose que :

- Les systèmes géothermiques (de 5 et 3 tonnes) combleraient 26 % des besoins de chauffage grâce à l'énergie du sol (« gratuite »), soit près de 70 000 kilowattheures équivalents.
- Dans ce cas, la géothermie pourrait engendrer une économie de puissance.
- La période de récupération de l'investissement serait de sept ans ou moins, selon le coût moyen de l'énergie.

Cependant, en aucun cas, la puissance de 8 tonnes des systèmes géothermiques ne peut suffire à combler la totalité des besoins de chauffage. En revanche, elle permet de climatiser l'été.

Vous trouverez les détails pertinents à l'annexe F. Vous pouvez aussi joindre le presbytère au (450) 292-3469.



8. Autres solutions de chauffage complémentaires

Parmi les autres sources d'énergie pouvant servir pour le chauffage, on trouve aussi :

L'énergie éolienne

Pour une production de 75 000 kWh/année, les frais d'acquisition liés à une installation éolienne s'élèvent à près de 60 000 \$.

L'énergie solaire

Une installation de douze panneaux solaires coûte environ 15 000 \$ et produira, par temps ensoleillé, 1 kW d'énergie.

Ces technologies sont prometteuses. Toutefois, la période de récupération de l'investissement demeure encore trop longue. Pour plus de détails, consultez le site Internet d'Hydro-Québec sur l'autoproduction, au www.hydroquebec.com/autoproduction.

9. L'enveloppe thermique

L'amélioration de l'efficacité énergétique de l'enveloppe thermique des églises du Québec représente un défi important. Non seulement la plupart des éléments de l'enveloppe comme les fondations, les murs extérieurs et le toit sont peu ou pas isolés, mais ils sont également difficiles à améliorer. Plusieurs caractéristiques techniques, architecturales, structurales ou historiques viennent s'ajouter aux difficultés d'accessibilité de ces bâtiments, parfois bicentennaires.

9.1 L'infiltrométrie et la thermographie

L'infiltrométrie et la thermographie sont des méthodes techniques qui permettent de détecter les fuites d'air et les pertes de chaleur à l'aide d'outils spécialisés. Toutefois, au Québec, ces méthodes ne sont pas utilisées dans les églises.



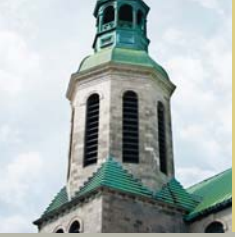
Après avoir étudié la question, un spécialiste du domaine a visité quelques églises et analysé la pertinence d'avoir recours à l'infiltrométrie et à d'autres procédés. Entre autres mesures, il propose que :

- des évaluations visuelles sur l'étanchéité du bâtiment soient effectuées par des professionnels ;
- les recommandations soient analysées une à une et pas forcément toutes mises en application ;
- les travaux de scellement soient, dans la mesure du possible, entrepris par des bénévoles et planifiés en même temps que d'autres travaux, comme des travaux de peinture, pour tirer parti, par exemple, des échafaudages installés à cette fin, et ce, dans le but de rentabiliser l'opération.

Selon nos estimations, les coûts d'une évaluation à l'aide de l'infiltrométrie ($\pm 1\ 500$ \$) et de la thermographie (entre 1 000 \$ et 2 000 \$) sont trop élevés si l'on tient compte des données additionnelles fournies sur le bâtiment. Une évaluation visuelle peut suffire pour repérer bon nombre de fuites. De plus, vu la difficulté d'accès, certains des travaux recommandés ne sont pas nécessairement faciles à réaliser, voire pas du tout.

9.2 L'isolation du bâtiment

Les entretoits ne sont pas toujours accessibles. Lorsqu'ils le sont, il serait rentable d'y ajouter de l'isolant pour atteindre une valeur équivalente à R40 ou plus. Pour ce qui est des murs et du sous-sol, l'isolation peut s'avérer avantageuse lorsque cela est possible.





ANNEXES



Annexe A

Sondage – Le confort à l'église à 10 °C et à 15 °C

Contexte et recherche

Afin de réduire les dépenses de chauffage qui sont importantes et d'équilibrer les finances de la fabrique, le curé de l'église Sacré-Cœur-de-Jésus de Montréal a diminué substantiellement la température ambiante de l'église (entre 10 °C et 11 °C).

Deux sondages ont été menés en mars 2006 auprès de fidèles qui vont à l'église Sacré-Cœur-de-Jésus. Le but était d'évaluer leur confort, d'abord par suite de l'abaissement de la température de l'église, puis de l'ajout d'un système de chauffage infrarouge (quatre lampes infrarouges) complémentaire. Au total, 85 personnes ont été interrogées lors du premier sondage et 70, lors du second.

La décision d'abaisser la température ambiante de l'église Sacré-Cœur-de-Jésus durant les mois d'hiver (à environ 11°C), afin de réduire de façon substantielle les dépenses de chauffage, est perçue comme une « bonne idée » par la majorité (74 %).

Sondage 1 – Avant l'ajout d'un système de chauffage complémentaire

Par contre, une minorité non négligeable (28 %) a avoué avoir maintenant « trop froid » durant la messe.

De même, avant l'installation des lampes infrarouges, la moitié des fidèles (48 %) pensaient que l'ajout d'un chauffage complémentaire s'imposait et s'avérait « indispensable ».

L'inconfort ressenti (au début de mars 2006) était donc réel chez une proportion assez importante de fidèles.

Sondage 2 – Après l'ajout d'un système de chauffage complémentaire

Lors du second sondage (deux semaines après le premier), deux des quatre lampes infrarouges suspendues au plafond étaient en marche. La température extérieure était presque aussi froide que lors du premier week-end du sondage, mais la température ambiante de l'église était d'environ 4 degrés supérieure.

Pour la très grande majorité des fidèles, soit approximativement 9 sur 10, l'ajout d'un système de chauffage complémentaire a permis de rendre la température ambiante de l'église Sacré-Cœur-de-Jésus acceptable ; seulement 1 % a trouvé que la température était encore « trop basse ». On note donc une amélioration importante du confort des fidèles, et la situation leur paraît acceptable ; toutefois, une proportion non négligeable (30 %) avoue avoir eu encore « un peu froid aux pieds », malgré l'ajout du système de chauffage complémentaire, et 6 % estiment que c'est « encore trop froid » dans l'église lorsqu'il fait froid à l'extérieur.

Nous estimons qu'avec ce chauffage additionnel, la situation à l'église Sacré-Cœur-de-Jésus n'est pas idéale, mais tout à fait convenable : la plupart des fidèles sont d'accord avec la baisse de température, et la majorité se sentent confortables. De plus, ils considèrent que leur confort est accru lorsque les lampes infrarouges sont en fonction (il faudra s'assurer de bien « exploiter » le système). Par ailleurs, les gens – même les plus âgés – s'habitueront à cette nouvelle réalité, si ce n'est déjà fait.



Annexe B

Table de conversion du combustible en kilowattheures équivalents

Conversion des litres de mazout en kilowattheures équivalents

1 litre de mazout n° 2 fournit 10,8 kWh d'énergie avec un système d'une efficacité de 100 %.
1 m³ de gaz naturel fournit 10,5 kWh d'énergie avec un système d'une efficacité de 100 %.
1 kWh d'électricité fournit 1 kWh d'énergie avec un système d'une efficacité de 100 %.

$$kWh_e = 10,8 \left(\frac{kWh}{\text{litres de mazout}} \right) \times A \text{ (litres de mazout)} \times B \text{ (efficacité du système)}$$

Exemple :

On utilise 1 000 litres de mazout n° 2.
On souhaite trouver les kilowattheures équivalents.
L'efficacité du système à mazout est de 65 %.

$$kWh_e = 10,8 \left(\frac{kWh}{\text{litres de mazout}} \right) \times 1\,000 \text{ (litres de mazout)} \times 0,65 \text{ (efficacité du système)}$$

$$kWh_e = 7\,020$$

kWh_e : kilowattheure équivalent

Conversion des kilowattheures en litres de mazout

$$kWh / [10,8 \times \text{efficacité du système à mazout} (0,65)] = \text{litres de mazout}$$



Annexe C

Calcul de la puissance d'un système de chauffage électrique

La théorie

Différentes méthodes existent pour calculer la puissance requise d'un système de chauffage. La méthode que nous utilisons est basée sur la consommation d'énergie annuelle.

Pour calculer la puissance requise de la chaudière, on peut avoir recours à la relation suivante :

$$kWh = \frac{kW \times \text{degrés-jours}_{18^\circ\text{C}} \times Cd \times 24}{DT}$$

En utilisant 4 576 degrés-jours annuels à une température de base de 18 °C , un différentiel de température (DT) de 45 °C, une constante de pondération (Cd) de 0,8 avec une consommation annuelle de 413 219 kWh (cas type), on obtient :

$$kW = \frac{413\,219 \text{ kWh} \times 45^\circ\text{C}}{(4576 \text{ degrés-jours} \times 0,8 \times 24 \text{ h/jour})} = 211 \text{ kW}$$

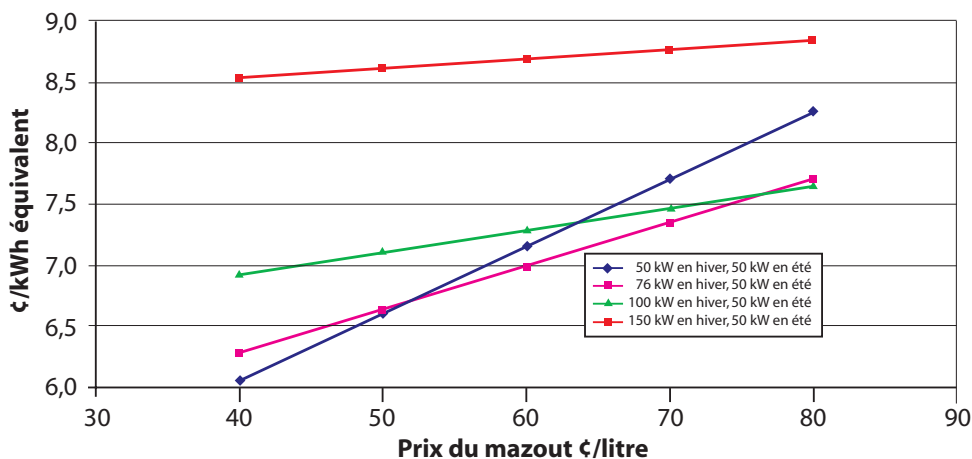
Les calculs démontrent qu'il faudrait une chaudière d'une capacité de l'ordre de 211 kW pour combler les besoins de chauffage en période d'hiver, soit quelque 413 000 kWh. Élaborée par l'ASHRAE, cette méthode d'établissement de la puissance vise à s'assurer que les besoins de chauffage sont satisfaits jusqu'à -23 °C , même avec de bonnes rafales de vent. La puissance ainsi fixée permet même d'abaisser et de hausser la température en période de grands froids.

Annexe D

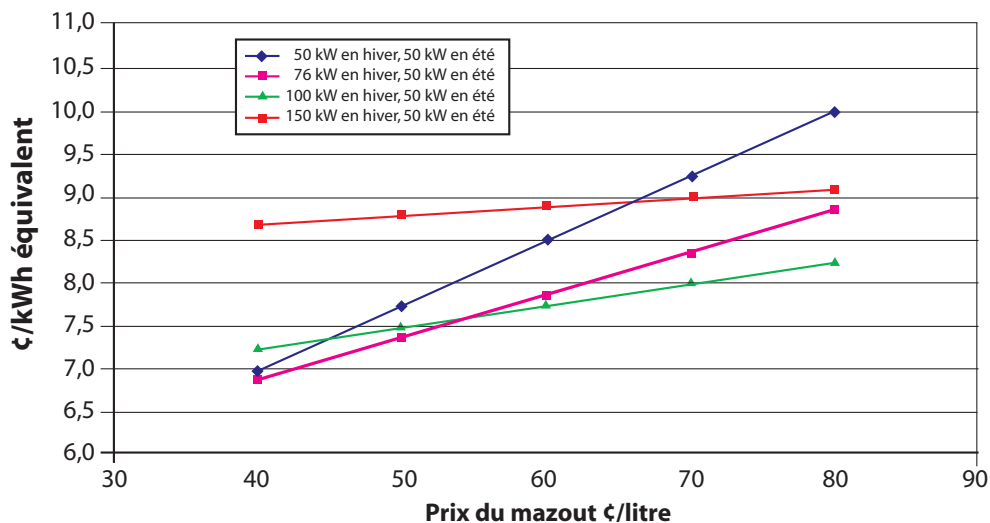
Le mode hybride en détail

Les deux graphiques suivants donnent une comparaison des coûts d'énergie en fonction du prix du mazout. Dans le premier graphique, l'efficacité du système à mazout est de 70 % sur une base saisonnière (ce qui est très bon) et dans le second, de 50 % (ce qui est réaliste pour nombre d'églises).

Effacité du système à mazout : 70 %



Effacité du système à mazout : 50 %



La ligne rouge représente le chauffage électrique avec un système dont la puissance a été réduite. Les autres lignes illustrent différentes possibilités de configurations du mode hybride, qui tiennent compte des particularités applicables à la période d'hiver (entre le 1^{er} décembre et le 31 mars) et à la période d'été, conformément à la réglementation tarifaire en vigueur.



Tableau 8 – Mode hybride – Réduction

En considérant que les proportions, en chauffage, sont linéaires.
 Les pourcentages en gras ont été utilisés pour extrapoler les litres de mazout en mode hybride (voir la section 5.3.1, tableau 6).

Puissance	Puissance maximale	Électricité (kWh)	Total	Système de chauffage électrique	Solde kWhe	kWhe en litres de mazout à		
						65 %	60 %	50 %
20	211	109 702	413 219	26,5 %	303 517	43 253	46 857	56 229
50	211	241 670	413 219	58,4 %	171 549	24 447	26 484	31 781
75	211	322 495	413 219	78,0 %	90 724	12 929	14 006	16 807
100	211	380 340	413 219	92,0 %	32 879	4 685	5 076	6 091
135	211	413 219	413 219	100 %	0	0	0	0

kWhe = kilowattheures équivalents

Une diminution additionnelle (de la puissance déjà réduite) de $\pm 25\%$ de la puissance permettra de combler 92 % des besoins de chauffage. Ce phénomène s'explique par les pointes de froid occasionnelles.

Consommation annuelle (kWh)	Réduite	Mode hybride (électricité et combustible) Réduction de 25 à 45 %			Puissance visée		kWh fournis		Système à mazout d'une efficacité de 65 %	
		de	à	kW	entre	à	entre	à	entre	et litres
450 000	152	38	68	114	84	414 194	351 201	5 103	14 079	
400 000	135	34	61	101	74	368 173	312 178	4 536	12 515	
350 000	118	30	53	89	65	322 151	273 156	3 969	10 951	
300 000	101	25	46	76	56	276 130	234 134	3 402	9 386	
250 000	85	21	38	63	50	230 108	195 111	2 835	7 822	
200 000	68	17	30	51	50	184 086	156 089	2 268	2 268	
150 000	51	13	23	50	0	150 000	117 067	0	0	
100 000	34	8	15	50	0	100 000	78 045	0	0	
50 000	17	4	8	50	0	50 000	39 022	0	0	

En fonction du prix du mazout et de la grosseur des éléments électriques du système de chauffage, on vise à réduire de 25 à 45 % la puissance pour optimiser la facture énergétique. Dans le présent cas type, la puissance de 211 kW, telle qu'établie par l'ASHRAE, passerait à 135 kW en mode puissance réduite et à moins de 100 kW en mode hybride.



Annexe E

Configurations de chaudières en mode hybride

Considérations techniques

Une étude sur les systèmes bi-énergie effectuée en 1993 par les Industries FP pour le compte d'Hydro-Québec fait état des conclusions suivantes :

Pour limiter les problèmes causés par la condensation dans la chaudière à mazout, le point de consigne ne doit pas être inférieur à 65 °C.

Peu importe le type de raccordement et de réseau de distribution, la température de retour doit toujours être supérieure à 60 °C de manière à ne pas atteindre le point de rosée, qui provoquerait une condensation interne et donc l'endommagement de la chaudière.

Les recommandations émises par la firme Volcano vont dans le même sens :

Une bouilloire à eau chaude fonctionnant à basse température (inférieure à 60 °C, par exemple) atteint une zone de température favorable à la condensation des gaz de combustion. Ces gaz deviennent alors excessivement corrosifs puisqu'ils contiennent du soufre et sont encore plus actifs en présence d'humidité. Il est donc important de prévenir la condensation des produits de combustion, qui a un impact sur la durée de vie de la chaudière, peu importe le fabricant.

Il est possible d'installer un aquastat triple sur la chaudière à mazout afin d'empêcher la pompe de circulation d'eau chaude de fonctionner et d'activer le brûleur si la température de la chaudière à mazout chute sous un seuil critique. Un aquastat triple sert à maintenir la température uniforme et à satisfaire les besoins en fonction de la limite de température tout en empêchant le circulateur de fonctionner en deçà d'un tel seuil, afin de prévenir tout retour d'eau trop froide.

Il est possible de maintenir en tout temps la puissance à 50 kW, ce qui simplifie le réglage. Dans le cas où l'on vise la puissance optimale (tel qu'il est indiqué dans les tableaux 5 et 6), un élément électrique (ou deux) peut être activé à l'aide d'une minuterie fonctionnant à longueur d'année ou d'un système de régulation automatique.



Exemple de conversion d'un système de chauffage bi-énergie en un système hybride

La différence entre le mode bi-énergie et le mode hybride réside dans le contrôle des deux systèmes. En mode bi-énergie, on alterne entre l'électricité et le mazout. En mode hybride, on utilise le système électrique et le système à mazout en simultanément, comme chauffage d'appoint. Ce mode ne s'applique qu'aux systèmes à eau chaude.

Les modifications visent à réduire la capacité de la chaudière électrique de manière que la puissance ne dépasse pas 50 kW l'été et la limite établie au tableau 7, l'hiver.

L'automatisation constitue une solution optimale pour les systèmes qui nécessitent une puissance supérieure à 50 kW.

Mais, on pourrait tout aussi bien décider d'éteindre manuellement le système de chauffage de mai à septembre pour éviter des frais de puissance. En effet, la réduction de la puissance à 50 kW permet de tirer avantage de la réglementation tarifaire en vigueur depuis avril 2006.

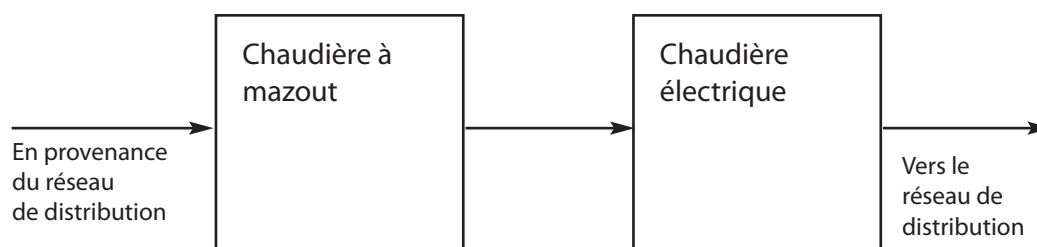


Figure 10 : Configuration d'un système de chauffage bi-énergie en mode hybride

Dans le présent cas, le système à mazout est déjà installé en amont de la chaudière électrique. Si, à l'inverse, la chaudière électrique est située en amont de la chaudière à mazout, elle pourrait alors préchauffer en tout temps cette dernière, de manière à prévenir les retours d'eau froide et d'éviter ainsi l'installation de valves à deux, à trois ou à quatre voies.

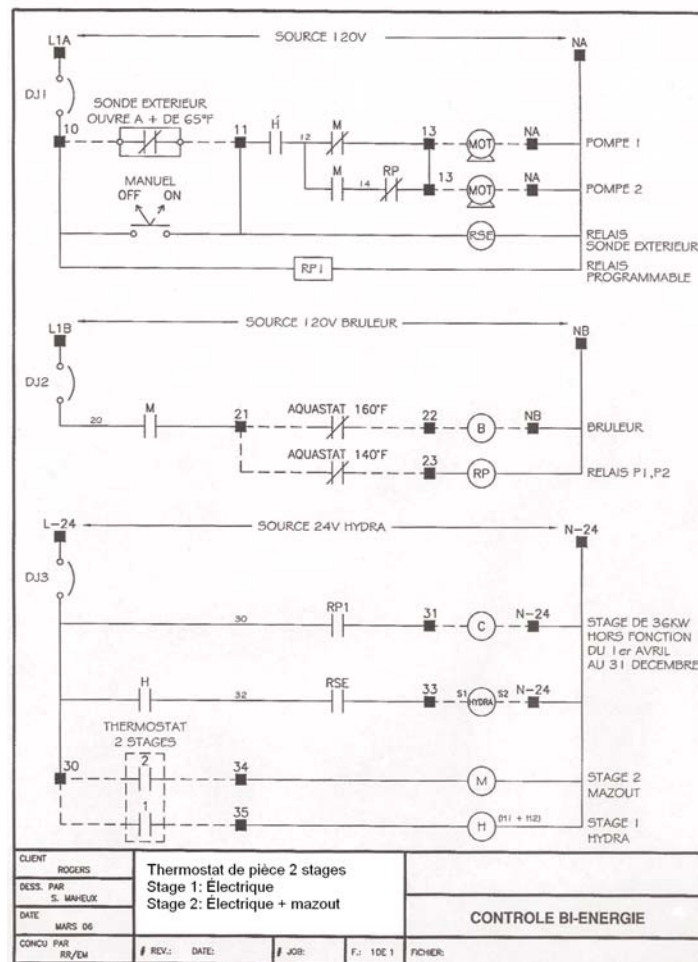
Afin de fonctionner en mode hybride, un « thermostat à deux stages », par exemple, peut être installé dans l'église en remplacement du thermostat existant. L'utilisation des aquastats des chaudières ne suffit pas.

- Le premier « stage » du thermostat règle la mise en marche des pompes de recirculation.
- La chaudière électrique est activée sur demande par le thermostat.
- Si la température de l'église n'atteint pas le point de consigne et que le second « stage » du thermostat est sollicité, la chaudière à mazout se met alors en marche, alors que la chaudière électrique fonctionne en parallèle. C'est ce qu'on appelle le mode hybride.
- En mode mazout, un aquastat triple empêche les pompes de fonctionner si la température de retour du réseau de distribution se situe sous le seuil de 60 °C et commande une hausse de la température de la chaudière avant que l'eau chaude circule dans le réseau de distribution. On prévient ainsi les risques de condensation des produits de combustion dans la chaudière à mazout.



- e. Une minuterie programmable sur une période de 365 jours met hors fonction l'un des éléments de la chaudière électrique (le signal de commande du contacteur) de manière que la puissance n'excède pas 50 kW (réduisant ainsi la puissance de la chaudière à 50 kW) en période d'été. Enfin, un relais de la sonde, qui mesure la température extérieure, met hors fonction la chaudière électrique une fois la saison de chauffage terminée, l'empêchant ainsi de fonctionner inutilement.

La figure 11 illustre la technique de régulation qui permet au système bi-énergie de fonctionner en mode hybride et de répondre ainsi aux besoins du client. L'installation a été confiée à un maître électricien. D'autres configurations sont aussi possibles (automate programmable, système automatisé, etc.). Votre spécialiste en chauffage et votre maître électricien sont à même de vous conseiller en fonction de vos équipements et de votre installation.



Source :
Hydro-Québec, Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE),
Spécifications techniques de systèmes bi-énergie intégrés dans le marché de remplacement,
Shawinigan, Québec, avril 1993.

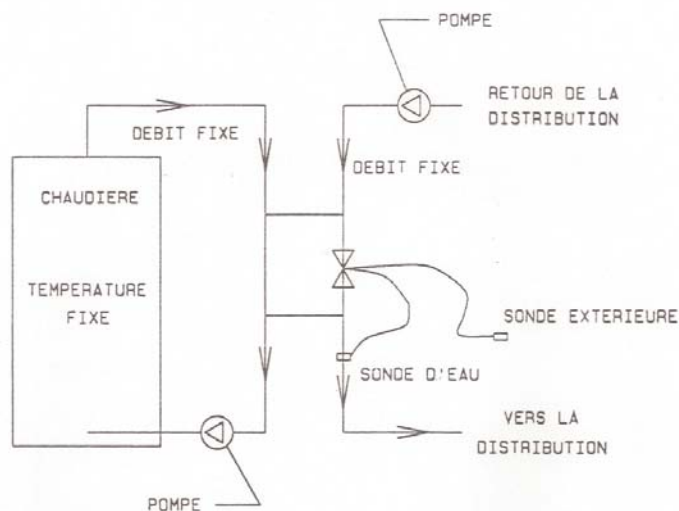
Figure 11 : Système de contrôle bi-énergie en mode hybride



Configurations types

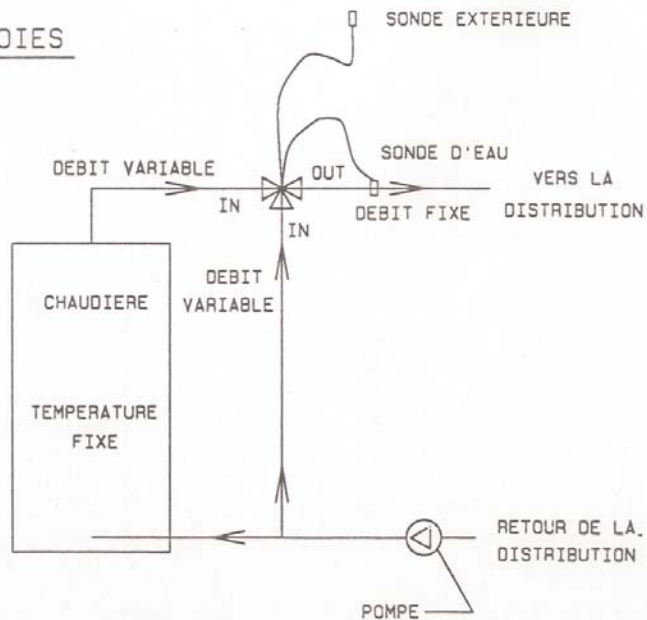
Pour maintenir la chaudière à mazout chaude, prévenir les variations trop brusques de température (ce qui peut créer des chocs thermiques) et réduire les risques de condensation, divers systèmes ou moyens peuvent être envisagés, à savoir l'installation d'une valve à deux à trois ou à quatre voies, ou d'une valve thermostatique, ou encore la modulation de la température de la chaudière.

VALVE 2 VOIES

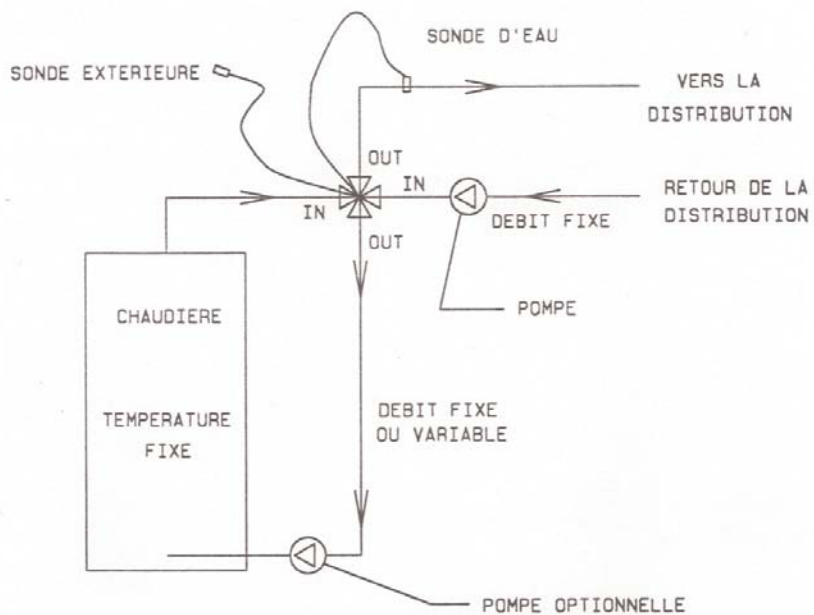


Source :
Hydro-Québec, Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE),
Spécifications techniques de systèmes bi-énergie intégrés dans le marché de remplacement,
Shawinigan, Québec, avril 1993.

VALVE 3 VOIES



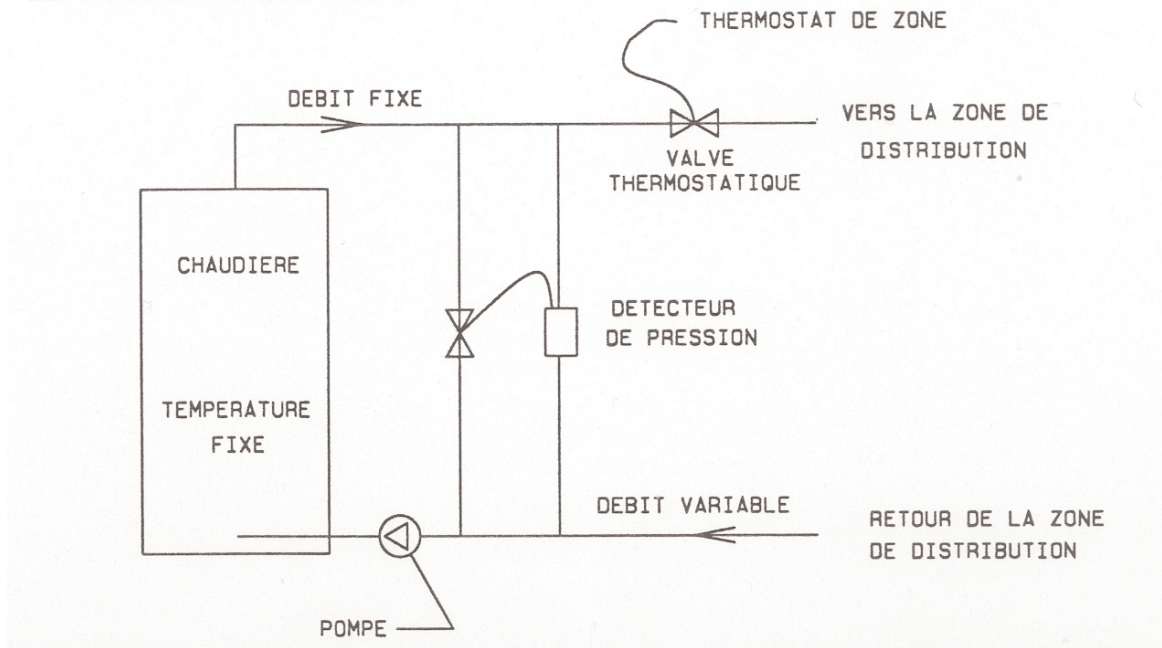
VALVE 4 VOIES



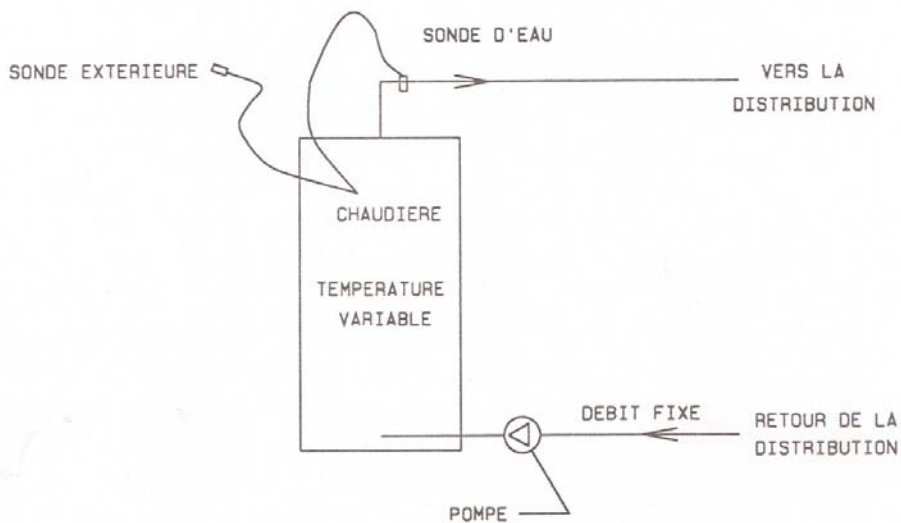
Source :
Hydro-Québec, Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE),
Spécifications techniques de systèmes bi-énergie intégrés dans le marché de remplacement,
Shawinigan, Québec, avril 1993.



VALVE THERMOSTATIQUE



MODULATION DE LA TEMPERATURE DE LA CHAUDIÈRE



Source :
Hydro-Québec, Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE),
Spécifications techniques de systèmes bi-énergie intégrés dans le marché de remplacement,
Shawinigan, Québec, avril 1993.

Annexe F

Les détails sur la géothermie

SCÉNARIO DE BASE

Données de base

Tarif : G

Le compteur n'enregistre que l'énergie utilisée pour le chauffage et la climatisation.

Il n'y a aucune autre charge de base.

Systèmes existants : - Deux thermopompes géothermiques (de 3 et 5 tonnes) pour une puissance installée totale de 7,3 kW
- Une chaudière électrique de 30 kW
- Une chaudière à mazout (en appoint)

Consommation du bâtiment : 100 890 kWh

Le sous-sol de l'église est climatisé en été.

Hypothèses

- Le coefficient de performance (COP) moyen du système géothermique est de 2,7. Ainsi, chaque kilowatt d'énergie produit 2,7 kilowattheures équivalents aux fins du chauffage.
- La chaudière électrique n'est pas utilisée de juin à octobre (voir les besoins quotidiens dans l'encadré).
- Les thermopompes géothermiques et la chaudière fonctionnent 80 % du temps (thermopompes : 5,84 kW ; chaudière : 24 kW).

Méthodologie

Dans le présent scénario, la chaudière à mazout n'a pas été prise en compte puisqu'elle ne sert pas au chauffage.

Date du relevé	N ^o de jours de la période	Relevé du compteur (kWh)	Besoin – Consommation quotidienne (kWh)	Système géothermique (consommation de base)		Chaudière électrique (système d'appoint)		Données mensuelles		
				Consommation quotidienne (kWh)* enregistrée par le compteur	kWh équivalents produits quotidiennement	Consommation quotidienne (kWh)	kWh équivalents produits quotidiennement	Consommation d'électricité (kWh)	Chauffage (kWh équivalents)	
1/20/05	30	13 860	462	140	378	322	322	13 860	21 000	
2/18/05	29	17 820	614	140	378	474	474	17 820	24 722	
3/21/05	31	21 060	679	140	378	539	539	21 060	28 438	
4/21/05	31	11 160	360	140	378	220	220	11 160	18 538	
5/20/05	29	4 680	161	140	378	21	21	4 680	11 582	
6/20/05	31	1 890	61	61	165	-	-	1 890	5 103	
7/21/05	31	1 440	46	46	125	-	-	1 440	3 888	
8/23/05	33	900	27	27	74	-	-	900	2 430	
9/22/05	30	450	15	15	41	-	-	450	1 215	
10/21/05	29	1 260	43	43	117	-	-	1 260	3 402	
11/22/05	32	9 450	295	140	378	155	155	9 450	17 066	
12/20/05	28	16 920	604	140	378	464	464	16 920	23 584	
TOTAL :		100 890			* 5,84 kWh x 24 h			TOTAL :	100 890	160 968

Coût d'acquisition du système de géothermie (2006)

Thermopompe géothermique (5 tonnes)	12 000 \$
Thermopompe géothermique (3 tonnes)	10 000 \$
Puits de géothermie (150 pieds/tonne à 18 \$/pied)	21 600 \$
	43 600 \$

Consommation d'énergie totale : 100 890 kWh
Total des kWh équivalents associés au chauffage : 160 968 kWh équivalents

Quantité de kWh équivalents « gratuits » produits par le système géothermique aux fins du chauffage : 60 078 kWh équivalents
Pourcentage : 37 %

Économie annuelle réalisée grâce au système géothermique

Coût moyen de l'énergie (¢/kWh)	Économie annuelle (\$)	Période de récupération de l'investissement (années)
3,1	1 862	23,4
8,3	4 986	8,7
11,0	6 609	6,6

Remarques

Les économies d'énergie seraient de 30 % supérieures si la puissance de la thermopompe géothermique était plus élevée.
L'énergie consommée par le système géothermique de juin à octobre est essentiellement utilisée pour la climatisation.



Autre scénario – Consommation deux fois plus élevée

Données de base

Tarif : G

Le compteur n'enregistre que l'énergie utilisée pour le chauffage et la climatisation.

Il n'y a aucune autre charge de base.

Systèmes existants : - Deux thermopompes (de 3 et 5 tonnes) pour une puissance installée totale de 7,3 kW
 - Une chaudière électrique de 64 kW
 - Une chaudière à mazout (en appoint)

Consommation du bâtiment : 201 780 kWh

Le sous-sol de l'église est climatisé en été.

Hypothèses

- Le coefficient de performance (COP) moyen du système géothermique est de 2,7. Ainsi, chaque kilowatt d'énergie produit 2,7 kilowattheures équivalents aux fins du chauffage.
- La chaudière électrique n'est pas utilisée de juin à octobre (voir les besoins quotidiens dans l'encadré),
- Les thermopompes géothermiques et la chaudière fonctionnent 80 % du temps (thermopompes : 5,84 kW ; chaudière : 51,2 kW).

Méthodologie

Dans le présent scénario, la chaudière à mazout n'a pas été prise en compte puisqu'elle ne sert pas au chauffage.

Date du relevé	N ^o de jours de la période	Relevé du compteur (kWh)	Besoin – Consommation quotidienne (kWh)	Système géothermique (consommation de base)		Chaudière électrique (système d'appoint)		Données mensuelles	
				Consommation quotidienne (kWh)*	kWh enregistrée par le compteur	Consommation quotidienne (kWh)	kWh équivalents produits quotidiennement	Consommation d'électricité (kWh)	Chauffage (kWh équivalents)
1/20/05	30	27 720	924	140	378	784	784	27 720	34 860
2/18/05	29	35 640	1 229	140	378	1 089	1 089	35 640	42 542
3/21/05	31	42 120	1 359	140	378	1 219	1 219	42 120	49 498
4/21/05	31	22 320	720	140	378	580	580	22 320	29 698
5/20/05	29	9 360	323	140	378	183	183	9 360	16 262
6/20/05	31	3 780	122	122	329	-	-	3 782	10 211
7/21/05	31	2 880	93	93	251	-	-	2 883	7 784
8/23/05	33	1 800	55	55	149	-	-	1 815	4 901
9/22/05	30	900	30	30	81	-	-	900	2 430
10/21/05	29	2 520	87	87	235	-	-	2 523	6 812
11/22/05	32	18 900	591	140	378	451	451	18 900	26 516
12/20/05	28	33 840	1 209	140	378	1 069	1 069	33 840	40 504
TOTAL :		201 780		* 5,84 kWh x 24 h		TOTAL :		201 803	272 018

Coût d'acquisition du système de géothermie (2006)

Thermopompe géothermique (5 tonnes)	12 000 \$
Thermopompe géothermique (3 tonnes)	10 000 \$
Puits de géothermie (150 pieds/tonne à 18 \$/pied)	21 600 \$
	43 600 \$

Consommation d'énergie totale :

201 803 kWh

Total des kWh équivalents associés au chauffage :

272 018 kWh équivalents

Quantité de kWh équivalents « gratuits » produits par le système géothermique aux fins du chauffage :
 Pourcentage :

70 215 kWh équivalents

26 %

Économie annuelle réalisée grâce au système géothermique

Coût moyen de l'énergie (c/kWh)	Économie d'énergie (\$)	Économie de puissance (\$)	Économie totale (\$)	Période de récupération de l'investissement (années)
3,1	2 177	600	2 777	15,7
8,3	5 828	600	6 428	6,8
11,0	7 724	600	8 324	5,2

Remarques

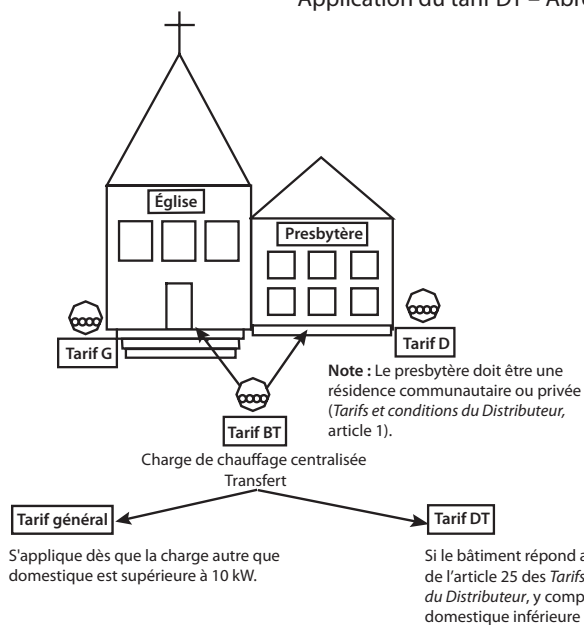
- Toutes choses étant égales, le pourcentage des économies générées par le système géothermique est moins élevé puisque la consommation du bâtiment a doublé.
- Un bâtiment similaire entièrement chauffé à l'électricité nécessiterait une puissance appelée supérieure d'environ 7 à 12 kW. Dans le présent scénario, le coût moyen de cette puissance est évaluée à 600 \$/an.

Annexe G

Admissibilité des presbytères au tarif DT

Aide-mémoire

Application du tarif DT – Abrogation du tarif BT



Admissibilité au tarif DT si :

Condition 1 - Le presbytère doit être une résidence communautaire ou privée (Tarifs et conditions du Distributeur, article 1).

Condition 2 - La puissance installée pour un usage autre que domestique est inférieure ou égale à 10 kW (Tarifs et conditions du Distributeur, article 29).

Données comprises dans le calcul pour évaluer si la charge est inférieure ou égale à 10 kW :

Tous les appareils servant à l'église :

Éclairage intérieur et extérieur
Clocher, sonnerie, orgue, micro, système audiovisuel, etc.
Pompe circulatrice
Chauffage de l'eau
Chauffage électrique d'appoint
Autre

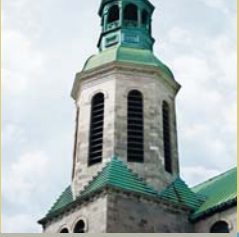
Données non comprises dans le calcul pour évaluer si la charge est inférieure ou égale à 10 kW :

Appareils centralisés (servant à l'église et au presbytère) :

Système de chauffage centralisé
Chauffage de l'eau
Climatiseur central

• Le tarif domestique ou DT peut s'appliquer dans le cas d'un système de chauffage centralisé qui dessert à la fois l'église et le presbytère.

• S'il tient lieu de résidence communautaire ou privée, le presbytère peut être assujéti au tarif bi-énergie DT.



Forts en énergie

www.hydroquebec.com/affaires

Hydro-Québec

Réalisé par la direction principale – Communications
pour la direction – Efficacité énergétique

2006G688 F1M

