

## **Marché résidentiel**

### **Rapport d'évaluation**

**Programme : Géothermie – Marché résidentiel**

**Période évaluée : Années 2007 à 2009**

**Présenté à :**

**Direction Efficacité Énergétique  
Vice-présidence Clientèle  
Hydro-Québec Distribution**

**Rapport final  
25 mars 2011**

N° de référence : ACM01-2010GÉO

Fichier source : R\_EVAL\_GEO\_2007-2009\_vF.doc





## Table des matières

<b>1. Sommaire exécutif</b>	<b>5</b>
1.1. DESCRIPTION DU PROGRAMME	5
1.2. MÉTHODOLOGIE	5
1.3. PRINCIPAUX CONSTATS	6
1.3.1. <i>Évaluation de l'impact énergétique du programme</i>	6
1.3.2. <i>Mise en contexte de l'impact énergétique du programme</i>	7
1.4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	8
<b>2. Description du programme</b>	<b>9</b>
2.1. OBJECTIFS DU PROGRAMME	9
2.2. APPUI OFFERT PAR HQD ET AUTRES SUBVENTIONS DISPONIBLES	9
2.3. CLIENTÈLES VISÉES PAR LE PROGRAMME	10
2.4. CRITÈRES D'ADMISSIBILITÉ POUR OBTENIR UNE SUBVENTION	10
<b>3. Méthodologie d'évaluation</b>	<b>11</b>
3.1. VUE D'ENSEMBLE DE LA MÉTHODOLOGIE	11
3.2. SOMMAIRE DES DIFFÉRENTES APPROCHES DE COLLECTE	12
3.2.1. <i>Le sondage auprès des participants</i>	12
3.2.2. <i>Le sondage auprès des non-participants</i>	12
3.2.3. <i>Le sondage auprès des acteurs commerciaux</i>	12
3.2.4. <i>Le groupe de discussion et les entretiens individuelles</i>	12
3.3. PORTÉE DE L'ÉVALUATION	12
3.4. LIMITES MÉTHODOLOGIQUES ET ENJEUX	13
3.4.1. <i>Le calcul du taux d'opportunité</i>	13
3.4.2. <i>La répartition des économies d'énergie selon les organismes subventionnaires</i>	13
3.4.3. <i>La révision du calcul d'ingénierie</i>	13
<b>4. Évaluation d'impact énergétique</b>	<b>15</b>
4.1. RÉVISION DE L'ALGORITHME DE CALCUL DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE PRÉSUMÉES	15
4.2. CALCUL DE L'ÉNERGIE NÉCESSAIRE POUR LE CHAUFFAGE	17
4.3. ÉVALUATION DU GAIN UNITAIRE	21
4.4. TAUX D'OPPORTUNISME	22
4.5. ATTRIBUTION DES GAINS AUX ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES	24
4.6. LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ATTRIBUABLES AU PROGRAMME D'HQD	26
<b>5. Mise en contexte de l'impact énergétique du programme</b>	<b>27</b>
5.1. OBJECTIFS ET CONTRAINTES DE CONCEPTION	27
5.2. IMPACT DES EXIGENCES DU PROGRAMME	28
5.3. NOTORIÉTÉ DE LA GÉOTHERMIE ET DES PROGRAMMES DE SUBVENTION	29
<b>6. Conclusions et recommandations</b>	<b>31</b>
<b>7. Bibliographie et références</b>	<b>32</b>
<b>Annexe 1 : Explications détaillées des calculs de l'énergie pour le chauffage</b>	<b>33</b>
<b>Annexe 2 : Explications détaillées des calculs du gain unitaire</b>	<b>34</b>

## Liste des acronymes

Plusieurs acronymes sont utilisés dans le cadre de ce rapport d'évaluation. Afin de faciliter la lecture du document, nous présentons ici la liste de ces acronymes et leur signification.

AEE :	Agence de l'efficacité énergétique du Québec
AESEQ :	Association des entreprises spécialisées en eau du Québec
APPQ :	Association des puits et pompes du Québec
CCEG :	Coalition canadienne de l'énergie géothermique
CCQ :	Commission de la construction du Québec
CETAF :	Corporation des entreprises en traitement de l'air et du froid
CMMTQ :	Corporation des maîtres mécaniciens en tuyauterie du Québec
COP :	Coefficient de performance (ratio de l'énergie fournie pour le chauffage sur l'énergie consommée d'un équipement)
CSA :	Canadian Standards Association
HQD :	Hydro-Québec Distribution
OEE :	Office de l'efficacité énergétique du Canada
OPC :	Office de la protection du consommateur
PACG :	Pompes à chaleur géothermiques
PGEE :	Plan global en Efficacité énergétique
PRI :	Période de retour sur investissement
PTE :	Potentiel technico économique
RBQ :	Régie du bâtiment du Québec

# 1. Sommaire exécutif

## 1.1. Description du programme

Le programme « Géothermie – Marché résidentiel », lancé en 2007, soutient financièrement l'installation d'un système de chauffage géothermique dans les bâtiments résidentiels existants ou les maisons neuves. Les objectifs poursuivis par le programme sont :

- Stimuler la demande;
- Structurer l'offre.

Le programme visait initialement des économies d'énergie nettes globales de 4,5 GWh pour la période de l'évaluation, soit de 2007 à 2009 (avec 3,2 GWh en 2008<sup>1</sup>, selon la demande R-3644-2007 et 1,3 GWh en 2009 selon la demande R-3677-2008). Les données de suivi d'Hydro-Québec font état d'économies d'énergie nettes de 3,6 GWh (soit 1,2 GWh en 2008 et 2,4 GWh en 2009).

L'appui financier d'HQD pour l'installation d'un système de chauffage géothermique est de 2 000 \$ pour un bâtiment existant et de 2 800 \$ pour une maison neuve. Dans le cas des bâtiments existants, venait s'ajouter un potentiel de 1 300 \$ dans le cadre du programme Rénoclimat de l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec et de 3 750 \$ de l'Office de l'efficacité énergétique du Canada (4 375 \$ à partir de mars 2009).

Les critères d'admissibilité au programme sont :

- La maison doit être individuelle et située au Québec.
- La maison doit être chauffée à l'électricité.
- L'installation géothermique doit avoir été effectuée après le 1<sup>er</sup> mai 2007 par des entrepreneurs accrédités par la CCEG et certifiée par celle-ci.
- Les propriétaires de **bâtiments existants** doivent participer au programme Rénoclimat de l'Agence de l'efficacité énergétique pour obtenir la subvention de cet organisme.
- Pour les **bâtiments existants**, dans le cas des clients dont l'abonnement est au tarif DT, l'installation doit avoir été effectuée après le 3 novembre 2009.

## 1.2. Méthodologie

Aux fins de l'évaluation d'impact énergétique portant sur la période 2007-2009, la totalité des 431 projets subventionnés par HQD sur ces années a été prise en compte.

Cette étude devait permettre d'identifier les effets de distorsion (opportunisme) tout en se prononçant sur une méthode d'attribution des économies d'énergie entre les différents programmes de géothermie dont ont bénéficié les participants, c'est-à-dire celui d'HQD, de l'AEE et de l'OEE. Pour atteindre ce double objectif, on a considéré plusieurs variables mesurées auprès des participants qui sont importantes pour

---

<sup>1</sup> Les rares projets réalisés en 2007 ont été comptabilisés en 2008 dans le programme. Il n'y avait donc pas d'économies d'énergie en 2007.

estimer l'opportunité (planification des travaux, poids de la subvention dans la décision, comportement en l'absence de subvention et période d'installation) et le poids des organismes subventionnaires (importance relative des subventions, notoriété des programmes, crédibilité des organismes, sources d'information et motifs de choix de la géothermie).

Une attention particulière devait également être portée au calcul des gains énergétiques. On a donc procédé à l'actualisation des paramètres de l'algorithme d'ingénierie ayant servi à définir les économies des cas types lors de la conception du programme en tenant compte des caractéristiques réelles des participants au programme entre 2007 et 2009. Pour alimenter les calculs de l'algorithme, on a utilisé les données de facturation réelles des participants (post-installation). L'algorithme utilisé lors de la conception du programme a été revu par un expert qui a validé la justesse de la méthode de calcul et qui a révisé les paramètres de l'algorithme en se basant sur des recherches documentaires, sur des données météo et sur des simulations de bâtiments.

Pour alimenter l'évaluation, on a aussi réalisé plusieurs activités de collecte de données incluant des entrevues avec le personnel d'HQD, des sondages téléphoniques et un groupe de discussion auprès des participants, un sondage auprès de l'ensemble des ménages, un sondage auprès des acteurs commerciaux (foreurs et installateurs) et de nombreuses entrevues individuelles auprès d'acteurs de l'industrie.

### 1.3. Principaux constats

#### 1.3.1. Évaluation de l'impact énergétique du programme

##### **L'algorithme d'ingénierie tient compte des paramètres essentiels mais doit être actualisé**

Dans le cadre de la révision de ce modèle, Peter C. Jacobs de Building Metrics Inc. a identifié quelques pistes d'amélioration de l'algorithme d'ingénierie ayant servi à définir les économies des cas types lors de la conception. Les changements apportés ne viennent pas bouleverser les principes de base du calcul. Toutefois, l'algorithme d'ingénierie surestimait les économies d'énergie associées à la climatisation.

##### **Un taux d'opportunité élevé**

Le taux d'opportunité est élevé (49 % dans l'ensemble, 60 % pour les maisons neuves et 34 % pour les bâtiments existants).

##### **Un poids pour la répartition des gains plus élevé pour HQD**

Globalement chez les participants, c'est le programme d'HQD qui obtient le poids le plus important entre les trois programmes (57 %) alors que l'AEE obtient un poids de 16 % et l'OEE de 27 %. Le poids d'HQD est aussi plus élevé pour les maisons neuves (79 %) que dans les bâtiments existants (38 %).

### Des économies d'énergie nettes de 1,8 GWh

Le gain unitaire brut est de 14 330 kWh et le nombre de participants est de 431. Toutefois, le taux d'opportunisme élevé (49 %) et l'effet du partage des gains (poids des programmes) entre les trois organismes subventionnaires (57 % des gains sont attribuables au programme d'HQD) viennent diminuer de manière importante les économies d'énergie générées par les participants. Les économies d'énergie nettes du programme d'HQD se chiffrent à 1,8 GWh, un résultat inférieur aux objectifs initialement déposés à la Régie (4,5 GWh) et aux résultats dans le système de suivi d'HQD (3,6 GWh).

**Tableau 1-1 - Données du suivi des résultats du programme et évaluation de l'impact énergétique**

		Ensemble			Maisons neuves	Bâtiments existants
		2008	2009	Total		
Années civiles visées par l'évaluation						
<b>Nombre d'unités par année (participants)</b>	<b>Nombre</b>	<b>143</b>	<b>288</b>	<b>431</b>	<b>248</b>	<b>183</b>
<b>Effets de distorsion négatifs (%)</b>						
Opportunistes	%	-49 %			-60 %	-34 %
<b>Nombre d'unités - nets des effets de distorsion</b>	<b>Unités</b>	<b>73</b>	<b>147</b>	<b>220</b>	<b>99</b>	<b>121</b>
Économies unitaires brutes présumées	kWh/an	14 330	14 330	14 330	13 970	14 789
Part des économies attribuable à HQD	%	57 %			79 %	38 %
<b>Impact énergétique net du programme</b>	<b>GWh/an</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>
<b>Suivi interne du programme de HQD</b>	<b>GWh/an</b>	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	<b>3,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>
Écart avec le suivi (redressement)	GWh/an	-0,6	-1,2	-1,8	-0,6	-1,2
<b>Taux de réalisation du suivi</b>	<b>%</b>	<b>50 %</b>			<b>65 %</b>	<b>37 %</b>

### 1.3.2. Mise en contexte de l'impact énergétique du programme

#### Des objectifs plus larges que l'impact énergétique

Les économies d'énergie à court terme ne sont pas le seul objectif que poursuit le programme et l'apprécier uniquement sous cet angle ne représenterait pas une analyse complète. Les concepteurs du programme ont dû faire face à des contraintes particulières qui les ont amenés à concevoir un programme léger dans sa forme et ses processus afin de limiter son ampleur budgétaire.

#### Un impact positif sur les façons de faire des acteurs commerciaux

Les programmes de subvention, avec l'obligation de la certification, ont changé positivement les pratiques : 43 % des entrepreneurs affirment avoir changé leurs façons de faire à la suite de l'arrivée des programmes de subvention et de la certification (calculs plus précis, conformité aux normes, meilleure qualité technique et plus de rigueur).

#### Un processus de certification qui a un impact à la hausse sur les coûts

Trois aspects de la norme CSA-C448 amènent des coûts supplémentaires par rapport à la pratique courante qui existait avant son imposition dans le cadre du programme : l'injection de coulis (environ 3 \$

le pied linéaire de forage), le calcul des pertes thermiques (entre 200 \$ et 300 \$ par projet) et les tests sur le circuit géothermique avant sa mise en fonction (environ 200 \$ par projet). L'imposition de cette norme a donc eu comme effet de réduire l'impact net des subventions.

### **La géothermie mieux connue des consommateurs**

Depuis 2006, la notoriété de la géothermie a fait un bond de 20 %, passant de 48 % à 68 % chez les non-participants. S'il est le plus connu des trois programmes de subvention de la géothermie résidentielle, le programme d'HQD reste cependant relativement peu connu des non-participants (12 % le connaissent).

## **1.4. Conclusions et recommandations**

### **1. HQD a conçu rigoureusement, compte tenu des objectifs et des contraintes de départ, un programme dont les effets dépassent les économies d'énergie**

Recommandation : L'appréciation des résultats du programme doit tenir compte de l'ensemble des objectifs de départ (qualité des systèmes et structuration de l'industrie) et pas seulement de l'objectif ultime de générer des économies d'énergie.

### **2. Des économies d'énergie moins élevées que prévu, réduites par un taux d'opportunité élevé et un partage des gains entre les organismes subventionnaires**

Recommandation : HQD doit actualiser l'analyse de rentabilité économique du programme avec les taux d'opportunité réels qui lui sont associés tout en tenant compte de l'existence des autres programmes de subvention. On recommande à Hydro-Québec d'utiliser les résultats de la présente évaluation dans ses systèmes de suivi.

### **3. Le respect de la norme exigée pour bénéficier du programme est souhaitable, mais réduit l'impact des subventions sur le prix des systèmes**

Recommandation : HQD doit encourager l'adoption d'une norme uniforme comme critère obligatoire pour l'installation d'un système de géothermie, ce qui permettrait d'éliminer l'écart de prix avec les projets hors programme. La subvention fera alors une véritable différence pour tous les systèmes installés.



## 2. Description du programme

### 2.1. Objectifs du programme

Le programme « Géothermie – Marché résidentiel », lancé en 2007 par HQD, soutient financièrement l'installation de systèmes géothermiques dans les maisons unifamiliales neuves et les bâtiments existants. Les principaux objectifs<sup>2</sup> poursuivis par le programme sont de :

- **Stimuler la demande** pour des systèmes géothermiques avec un appui financier sous forme de « prime géothermique » permettant la réduction du coût initial en capital et une diminution de la PRI en échange d'exigences de qualité des installations.
- **Structurer l'offre** en géothermie par le soutien de la formation et la qualification des entrepreneurs, de la certification des installations et par des efforts de sensibilisation, d'information et de promotion auprès des clients
- **Communication destinée au grand public et aux clientèles cibles**, c'est-à-dire avec la conception et la diffusion de matériel de communication sur la géothermie (placement média, sites web d'HQD, Hydro-Contact, dépliants distribués dans les salons de l'habitation, outils promotionnels ÉnerGuide et Novoclimat, outils de masse, dépliants promotionnels, journaux spécialisés, etc.).
- **Utilisation de leviers existants** (Rénoclimat, Novoclimat et Écoénergie) afin de minimiser les coûts du programme. L'utilisation de ces leviers avait aussi comme objectif de minimiser les opportunités. HQD a par la suite abandonné le critère Novoclimat pour la nouvelle construction étant donné la faible représentativité des entrepreneurs certifiés Novoclimat dans certains secteurs géographiques du Québec.
- **Versement d'une prime géothermie fixe** octroyée aux clients résidentiels pour les installations certifiées par la CCEG.
- **Financement octroyé à la CCEG** en soutien à ses activités afin de combler les déficiences du marché.

Ainsi, le programme visait des économies d'énergie nettes globales de 4,5 GWh pour la période de l'évaluation, soit de 2007 à 2009 (3,2 GWh en 2008 et 1,3 GWh en 2009). Le programme ne prévoyait pas vraiment d'économies d'énergie pour 2007 et les quelques demandes de subvention faites durant cette année ont été comptabilisées en 2008.

### 2.2. Appui offert par HQD et autres subventions disponibles

L'appui financier d'HQD pour l'installation d'un système de chauffage géothermique est de 2 000 \$ pour un bâtiment existant et de 2 800 \$ pour une maison neuve. Dans le cas des bâtiments existants, venait s'ajouter un potentiel additionnel de 1 300 \$ (en moyenne, pouvait varier) dans le cadre du programme Rénoclimat de l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec et de 3 750 \$ de l'Office de l'efficacité énergétique du Canada (4 375 \$ à partir de mars 2009) dans le cadre du programme ÉnerGuide.

---

<sup>2</sup> PGEÉ, Budget 2007, Demande R-3610-2006.

### 2.3. Clientèles visées par le programme

Tous les propriétaires d'une maison individuelle chauffée à l'électricité située au Québec sont admissibles au programme Géothermie – Marché résidentiel. Toutefois, les analyses et les études de marché d'HQD ont démontré que la géothermie n'est pas destinée à un marché de masse et les segments les plus rentables ont été ciblés par des efforts de communication spécifique. Pour les bâtiments existants, le programme ciblait davantage :

- Les maisons unifamiliales disposant d'une thermopompe et dont la consommation totale est supérieure à 30 000 kWh.
- Les maisons unifamiliales disposant de conduits à air chaud et dont la consommation totale d'électricité est supérieure à 35 000 kWh.

En août 2007, l'exigence concernant la certification Novoclimat pour l'obtention de la subvention d'HQD était levée compte tenu du manque d'entrepreneurs Novoclimat sur l'ensemble du territoire et à la demande des consommateurs.

### 2.4. Critères d'admissibilité pour obtenir une subvention

Le programme comporte plusieurs critères d'admissibilité pour obtenir une subvention dans le cadre du programme :

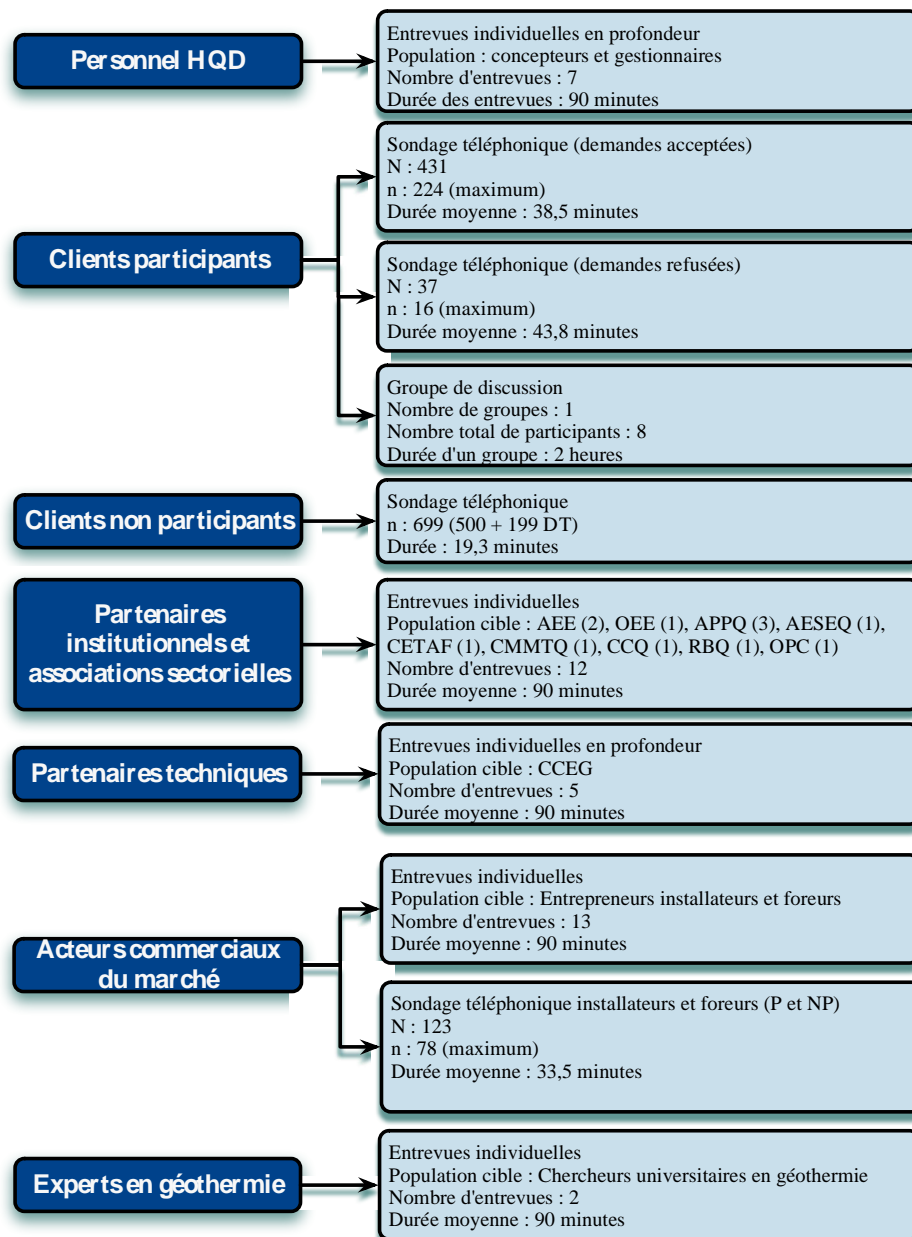
- La maison doit être individuelle et située au Québec.
- La maison doit être chauffée à l'électricité.
- L'installation géothermique doit avoir été effectuée après le 1<sup>er</sup> mai 2007 par des entrepreneurs accrédités par la CCEG et certifiée par celle-ci.
- Les propriétaires de **bâtiments existants** doivent participer au programme Rénoclimat de l'Agence de l'efficacité énergétique pour obtenir la subvention de cet organisme et donc faire réaliser une première évaluation énergétique de leur maison avant l'installation du système géothermique.
- Pour les **bâtiments existants**, dans le cas des clients dont l'abonnement est au tarif DT, l'installation doit avoir été effectuée après le 3 novembre 2009.

### 3. Méthodologie d'évaluation

#### 3.1. Vue d'ensemble de la méthodologie

Le diagramme 3-1 présente une vue d'ensemble des populations ciblées par chacune des activités de collecte ainsi que des résultats administratifs s'y rattachant.

**Diagramme 3-1 - Activités de collecte**



### 3.2. Sommaire des différentes approches de collecte

#### 3.2.1. *Le sondage auprès des participants*

Le sondage téléphonique auprès des participants comporte un échantillon de 224 répondants obtenu après avoir appelé l'ensemble de la population, soit les 431 répondants potentiels ayant participé au programme d'HQD. Un échantillon aléatoire de même taille donne une marge d'erreur maximale dans l'estimation d'une proportion (pour une question posée à tous les répondants) de  $\pm 4,5 \%$ , à un niveau de confiance de 95 %.

#### 3.2.2. *Le sondage auprès des non-participants*

Le sondage téléphonique auprès des non-participants (ensemble des ménages du Québec) comporte un échantillon de 699 répondants. Un tel échantillon donne une marge d'erreur maximale dans l'estimation d'une proportion (pour une question posée à tous les répondants) de  $\pm 4,1 \%$ , à un niveau de confiance de 95 %.

#### 3.2.3. *Le sondage auprès des acteurs commerciaux*

Le sondage téléphonique auprès des acteurs commerciaux comporte un échantillon de 78 répondants. Un tel échantillon donne une marge d'erreur maximale dans l'estimation d'une proportion (pour une question posée à tous les répondants) de  $\pm 6,8 \%$ , à un niveau de confiance de 95 %.

#### 3.2.4. *Le groupe de discussion et les entrevues individuelles*

Nous avons réalisé un groupe de discussion (durée de deux heures) et des entrevues individuelles (60-90 minutes) comme suit :

- Un groupe (n:8) auprès de participants au programme de la région de Montréal.
- Deux entrevues individuelles avec des participants de l'extérieur de la région de Montréal.
- Une entrevue individuelle avec un ménage ayant installé un système géothermique, mais n'ayant pas participé au programme.
- Sept entrevues individuelles auprès de membres du personnel d'HQD.
- Douze entrevues individuelles avec des partenaires, associations sectorielles ou autres organisations impliquées en géothermie (AEE, OEE, APPQ, AESEQ, CETAF, CMMTQ, OPC, CCQ et RBQ).
- Six entrevues individuelles avec le partenaire technique (CCEG) ou des experts ayant effectué des travaux dans le cadre du programme.
- Deux entrevues individuelles avec des chercheurs universitaires en géothermie.
- Treize entrevues individuelles avec des acteurs commerciaux (entrepreneurs et foreurs) accrédités auprès de la CCEG.

### 3.3. Portée de l'évaluation

Aux fins de l'évaluation d'impact énergétique portant sur la période 2007-2009, la totalité des 431 projets subventionnés par HQD sur ces années a été prise en compte. Cette étude devait permettre d'identifier les

effets de distorsion (opportunisme) tout en se prononçant sur les méthodes d'attribution des économies d'énergie entre les différents programmes de géothermie dont ont bénéficié les participants, c'est-à-dire celui d'HQD, de l'AEE et de l'OEE. Une attention particulière devait également être portée à l'actualisation des variables de l'algorithme d'ingénierie (ayant servi à définir les économies des cas types lors de la conception) et ce, en tenant compte des caractéristiques réelles des participants au programme entre 2007 et 2009.

### 3.4. Limites méthodologiques et enjeux

#### 3.4.1. *Le calcul du taux d'opportunisme*

Le calcul du taux d'opportunisme<sup>3</sup> est très important, car il s'agit souvent d'un élément qui a un impact considérable sur le calcul des économies d'énergie du programme. L'approche que nous avons adoptée se base principalement sur l'opinion exprimée par les participants en ce qui concerne ce qu'ils auraient fait en l'absence de programme. La mesure ne se base pas sur le résultat d'une seule question, mais bien sur un ensemble de questions qui permet de mieux comprendre le rôle qu'a joué le programme. On a donc déjà là une forme de triangulation, car on mesure de multiples façons le taux d'opportunisme pour tenter d'arriver à un résultat qui est moins tributaire du résultat d'une seule question. La méthode d'attribution du niveau d'opportunisme associé à chaque choix de réponse a été développée, dans le cadre d'une évaluation précédente (programme Appui aux initiatives – systèmes industriels), en collaboration avec M. Nick Hall (TecMarket Works), un des auteurs du California Evaluation Framework.

#### 3.4.2. *La répartition des économies d'énergie selon les organismes subventionnaires*

Le nombre d'organismes qui offraient une subvention aux participants du programme d'HQD pour les bâtiments existants durant la période évaluée était élevé (soit 3, c'est à dire non seulement HQD, mais aussi l'AEE et l'OEE) et la subvention offerte par HQD n'était pas nécessairement la plus importante dans ce segment. Dans la répartition des économies d'énergie, nous avons tenu compte du montant de la subvention, mais aussi de la notoriété des organismes, de leur crédibilité, des sources d'information utilisées par les participants et des motifs de choix de la géothermie.

#### 3.4.3. *La révision du calcul d'ingénierie*

Pour calculer les économies d'énergie, un algorithme d'ingénierie inspiré de celui utilisé lors de la conception du programme a été employé. Cette approche est la plus appropriée, compte tenu du nombre relativement restreint de participants au programme qui limite grandement la précision statistique qu'on peut obtenir avec des analyses de facturation comparant la consommation avant et après la géothermie. Cela est d'autant plus vrai qu'une part importante des participants provient du segment des maisons neuves (58 %) pour lesquelles on ne dispose pas de consommation avant l'installation de la géothermie. De plus, les systèmes installés dans le cadre du programme sont trop récents pour qu'on ait un bon portrait de leur efficacité à moyen et long terme. Enfin, il n'est pas possible de constituer un groupe témoin pour les

---

<sup>3</sup> Les opportunistes sont des participants qui auraient installé de toutes façon un système de chauffage géothermique en l'absence du programme, mais qui participent à ce dernier uniquement pour profiter de la subvention. Ils ne génèrent pas d'économies d'énergie supplémentaires puisque ces dernières se seraient quand même réalisées en l'absence de programme.

analyses de facturation, car les systèmes de géothermie sont trop peu répandus dans l'ensemble des ménages pour être clairement identifiés, ce qui empêche d'obtenir une analyse de facturation complète où tous les facteurs extérieurs à la participation au programme sont contrôlés.

Pour ces raisons, une approche basée sur un calcul d'ingénierie incorporant les données de facturation réelles des participants (post-installation) nous apparaissait comme étant la méthodologie la plus appropriée pour calculer les économies des différents systèmes installés dans le cadre du programme d'HQD et d'évaluer ainsi son impact énergétique brut.

De plus, une révision de l'algorithme de calcul des économies d'énergie a été réalisée avec un expert en la matière. À ce titre, nous avons fait appel à une ressource spécialisée sur cet aspect, soit monsieur Peter Jacobs, un expert dans le domaine de l'évaluation de programme d'efficacité énergétique<sup>4</sup>. M. Jacobs était responsable d'analyser non seulement les hypothèses et les paramètres de l'algorithme d'ingénierie, mais aussi les calculs qui en découlent, le tout en collaboration avec SOM.

---

<sup>4</sup> M. Peter Jacobs de Building Metrics inc. a une longue expérience en analyse d'ingénierie et dans les techniques de simulation de la consommation énergétique des bâtiments, et ce, dans des évaluations de programmes résidentiels, commerciaux et industriels. Depuis le début des années 1990, il est un pionnier de l'analyse de la consommation des bâtiments par simulation de la série « Estimating the Impacts of Demand-Side Management Programs », un ensemble de trois manuels conçus pour l'organisme Electric Power Research Institute.

## 4. Évaluation d'impact énergétique

L'évaluation de l'impact énergétique du programme comporte les étapes suivantes.

1. Révision de l'algorithme d'ingénierie utilisé pour le calcul des économies d'énergie lors de la conception du programme.
2. Calcul de l'énergie nécessaire pour le chauffage chez les participants à l'aide des données de facturation post-installation des clients.
3. Établissement du scénario de référence et calcul du gain unitaire.
4. Estimation du taux d'opportunité et calcul des économies d'énergie attribuables à l'ensemble des subventions reçues par les participants au programme de géothermie d'HQD.
5. Calcul des économies d'énergie attribuables spécifiquement au programme d'HQD, étant donné que les participants ont aussi reçu des subventions provenant de l'AEE et de l'OEE.
6. Tableau synthèse usuel des économies d'énergie nettes générées par le programme de géothermie d'HQD.

La présente section décrit en détail chacune de ces étapes.

### 4.1. Révision de l'algorithme de calcul des économies d'énergie présumées

#### **Un effort de conception rigoureux, basé sur une analyse sérieuse et complète**

Il faut reconnaître qu'HQD a fait un effort sérieux de prévision et d'analyse dans le cadre de la conception du programme. Les données d'autres acteurs (étude de Ressources naturelles Canada et de la CCEG) sont également venues nourrir la conception du programme de manière à ce qu'il tienne compte des réalités du marché de la géothermie.

#### **L'algorithme d'ingénierie tient compte des paramètres essentiels, mais doit être actualisé**

Un des aspects importants de la conception du programme fut l'élaboration (en 2006) d'un algorithme d'ingénierie servant à définir les cas types de gains énergétiques et la période de retour sur l'investissement, tenant compte de différents segments de clientèle. Ceci permettait aux concepteurs du programme d'évaluer différents scénarios pour le déploiement du programme.

Dans le travail de révision de l'algorithme d'ingénierie, nous nous sommes attardés exclusivement sur le calcul des économies d'énergie et non sur les autres aspects (estimation des coûts d'achat et d'utilisation, estimations des résultats par segment de clientèle, etc.). La révision de ce modèle par Peter C. Jacobs a permis d'identifier quelques pistes d'amélioration et de rafraîchir les paramètres utilisés, mais ces modifications ne remettent pas en question la plupart des principes de base du modèle. L'algorithme d'ingénierie surestimait toutefois les économies d'énergie reliées à la climatisation.

Les ajustements souhaitables, identifiés par monsieur Jacobs, touchent les éléments suivants :

1. Un nombre significatif de ménages ne climatisaient pas leur résidence avant l'installation du système géothermique. L'énergie additionnelle que consomment maintenant ces ménages pour climatiser leur résidence doit être prise en compte. Il s'agit de l'élément ayant le plus d'impact par rapport au modèle original qui posait l'hypothèse, dans le scénario de référence, que toutes les

maisons étaient climatisées. De plus, le facteur utilisé pour estimer l'énergie nécessaire pour climatiser nous apparaît surestimer la charge de climatisation.

2. Les paramètres utilisés au départ concernant l'efficacité énergétique des systèmes géothermique et des équipements de référence pour le chauffage et la climatisation étaient des valeurs acceptables, compte tenu des conditions à l'origine. Certains paramètres doivent toutefois être révisés en fonction de l'évolution de la performance de ce type d'équipement.
3. L'algorithme d'ingénierie utilise un paramètre global qui tient compte de l'efficacité de la thermopompe et de l'ensemble des autres facteurs affectant l'efficacité du système (équipements auxiliaires, boucle de sol, etc.). La réflexion ayant mené au choix de ce paramètre se basait, entre autres, sur une analyse théorique approfondie relativement à la boucle de sol. L'efficacité de la boucle de sol dépend toutefois largement de la qualité de l'installation et du dimensionnement du système qui peuvent s'écarter de la situation théorique. Selon notre expert, M. Peter Jacobs, on dispose actuellement dans l'industrie de peu de données mesurées sur le terrain concernant l'efficacité réelle des boucles de sol installées. Ce manque de données expérimentales relatives à l'efficacité énergétique réelle de l'échangeur de chaleur dans le sol constitue la principale zone d'incertitude en ce qui concerne l'efficacité des systèmes. Un approfondissement de cette question est donc souhaitable, non seulement dans la perspective de la poursuite du programme d'HQD, mais aussi pour enrichir les connaissances de l'ensemble de l'industrie. Une réflexion théorique concernant cet aspect demeure toutefois ce qu'il y a de mieux à faire compte tenu de l'information disponible. Dans le cadre de l'évaluation des économies d'énergie, nous avons donc simplement révisé le paramètre global utilisé à l'origine.

Nous avons utilisé l'algorithme d'ingénierie révisé à la lumière des commentaires de Peter C. Jacobs pour calculer les économies d'énergie générées par le programme. Le détail des changements apportés à chacun des paramètres est expliqué plus loin (incluant les paramètres initiaux et révisés, ce qui permet de décrire à la fois l'algorithme original et l'algorithme révisé).

***Constat : L'algorithme d'ingénierie peut encore être utilisé avec une mise à jour des paramètres.***

*L'algorithme d'ingénierie a bien servi HQD aux fins de conception du programme. Sans être parfait, cet outil a permis de calculer avec un degré raisonnable de certitude les économies attendues du programme. Les éléments d'actualisation proposés ne viennent pas bouleverser fondamentalement ce modèle en ce qui concerne l'estimation des économies d'énergie. Par contre, l'efficacité réelle des boucles de sol demeure un aspect moins bien documenté par des données empiriques, une situation qui est toutefois commune à l'ensemble de l'industrie en Amérique du Nord.*



### 4.2. Calcul de l'énergie nécessaire pour le chauffage

Le tableau 4-1 présente les paramètres utilisés afin de calculer l'énergie nécessaire pour le chauffage pour les participants. Les lignes désignées par les lettres DO (suivies d'un numéro) contiennent des DOnnées provenant des sondages ou fournies par HQD. Les lignes désignées par les lettres PA (suivies d'un numéro) sont des PAramètres de l'algorithme d'ingénierie qui peuvent avoir été ajustés à la suite de l'analyse de notre expert (Peter Jacobs). Les autres lignes (désignées par une lettre) sont obtenues par calcul à partir des données (DO) et des paramètres (PA). Pour chaque paramètre et pour chaque donnée, on indique la source soit SOM, HQD (HQ), l'algorithme d'ingénierie (AI) ou les analyses de Peter Jacobs (PJ).

**Tableau 4-1 - Principaux paramètres du calcul de l'énergie totale utilisée pour le chauffage**

		Source	Ensemble	AI	Maisons neuves	Bâtiments existants
DO1	Consommation réelle par ménage (kWh)	HQ	<b>26 100</b>		<b>26 747</b>	<b>25 421</b>
PA1	% de la consommation totale d'énergie du ménage consacrée au chauffage	AI / PJ	<b>51 %</b>	<b>51 %</b>	<b>51 %</b>	<b>51 %</b>
PA2	Proportion de l'énergie de chauffage fournie par la géothermie	AI / PJ	<b>95 %</b>	<b>95 %</b>	<b>95 %</b>	<b>95 %</b>
PA3	Efficacité réelle moyenne de la géothermie	PJ	<b>3,56</b>	<b>3,00</b>	<b>3,56</b>	<b>3,56</b>
A	% de la consommation électrique du ménage consacrée au chauffage		<b>24,8 %</b>		<b>24,8 %</b>	<b>24,8 %</b>
B	Consommation électrique de chauffage après l'installation de la géothermie (kWh)		<b>6 473</b>		<b>6 633</b>	<b>6 304</b>

Au départ, nous savons que la consommation électrique (tous usages) des résidences chauffées par la géothermie est de 26 100 kWh (DO1). Cette information est établie d'après les données de consommation d'énergie des ménages participants après l'installation de la géothermie. Ces données nous permettent de connaître la consommation d'énergie des participants après l'installation de leur système géothermique. En utilisant les hypothèses PA1 à PA3, on peut ensuite calculer la quantité d'énergie utilisée pour le chauffage dans ces résidences et, ultimement, les gains énergétiques relatifs à l'installation d'un système géothermique.

Pour y arriver, nous savons que l'énergie de chauffage correspond à 51 % de l'énergie totale de la résidence et que le système de géothermie fournira environ 95 % des besoins de chauffage. Il s'agit de deux hypothèses utilisées dans l'algorithme d'ingénierie et qui ont été retenues par Peter Jacobs.

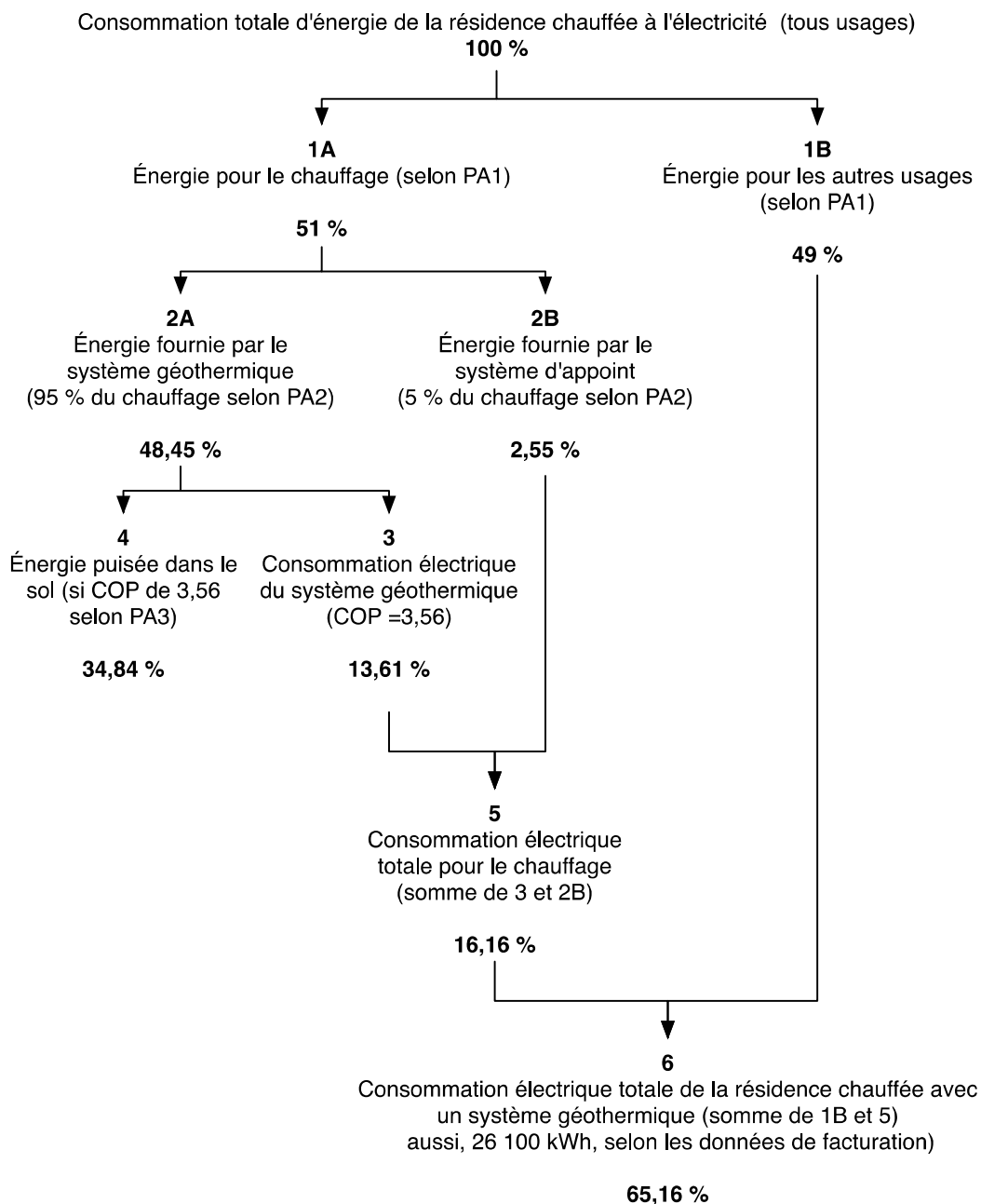
Par ailleurs, notre expert a estimé que l'efficacité moyenne réelle des systèmes géothermiques est de 3,56. Cette estimation est obtenue en se basant sur les informations contenues dans la base de données de la CCEG pour les participants (efficacité nominale moyenne des thermopompes, dimensionnement, etc.) et en tenant compte de l'effet des facteurs qui peuvent influencer l'efficacité du système. La valeur utilisée dans l'algorithme d'ingénierie était de 3,0, ce qui nous apparaît trop conservateur aux fins du calcul des

## Évaluation programme Géothermie – Marché résidentiel 2007-2009

économies d'énergie, compte tenu de l'évolution récente de la performance des équipements (cette valeur était toutefois valable au moment de la conception du programme).

Le diagramme 4-1 illustre le processus de désagrégation de la consommation d'énergie (2009-2010) qui permet d'établir la proportion que représente la consommation électrique par rapport au total de l'énergie consommée par la résidence chauffée à la géothermie. L'annexe 1 décrit le détail des calculs.

### Diagramme 4-1 - Processus de calcul de la désagrégation de la consommation d'énergie de la résidence chauffée à l'aide de la géothermie pour 2009-2010



## Évaluation programme Géothermie – Marché résidentiel 2007-2009

Une fois la part de la consommation totale d'énergie que représente la consommation électrique connue, on peut, à l'aide d'une simple règle de trois, calculer la consommation totale d'énergie en termes de kWh. On fait de même pour toutes les autres composantes de la consommation d'énergie, tel qu'illustré au diagramme 4-2. Le détail des calcul est présenté à l'annexe 1.

### Diagramme 4-2 – Résultats de la désagrégation de la consommation d'énergie de la résidence chauffée à l'aide de la géothermie pour 2009-2010

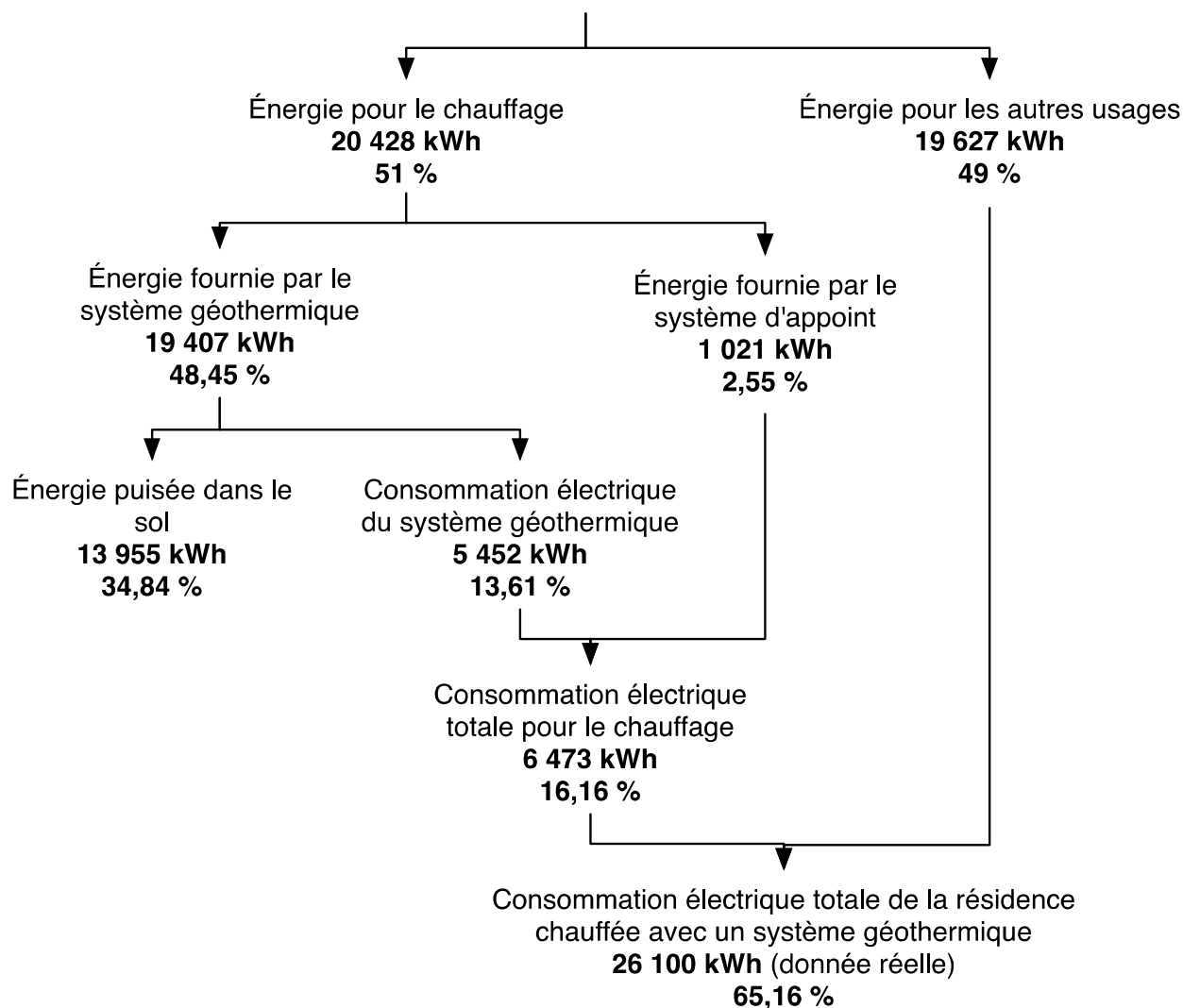
(en % et en kWh)

Consommation totale d'énergie de la résidence chauffée  
avec un système géothermique (tous usages)

**100 %**

**40 055 kWh**

(La consommation en kWh est obtenue sachant que la consommation électrique de 26 100 kWh obtenue des données de facturation, représente 65,16 % de l'énergie totale :  $26\ 100\ \text{kWh} \times 100\ \% \div 65,16\ \%$ . Les autres valeurs en kWh du tableau sont obtenues de façon similaire, par une simple règle de trois)



À la ligne C du tableau 4-2, on corrige ensuite la consommation de chauffage du diagramme 4-1 pour obtenir une **consommation de chauffage normalisée** en fonction des degrés jours de chauffage d'une année typique. Le facteur de correction que nous avons retenu, en se basant sur l'analyse des données météo de Montréal et Québec par notre expert, est de 1,2 (20 428 kWh X 1,2 = 24 514 kWh pour une année typique)<sup>5</sup>.

On utilise ensuite un paramètre révisé de l'algorithme d'ingénierie (PA4) pour établir l'énergie nécessaire pour le chauffage (l'énergie pour le chauffage représente 10 fois l'énergie nécessaire pour la climatisation), tel qu'indiqué au tableau 4-2. Le facteur pour calculer la consommation de refroidissement (PA4) a été révisé de 4 à 10 sur la base de deux simulations réalisées à l'aide du logiciel DOE2 pour la ville de Québec<sup>6</sup>, l'une en supposant une maison plutôt mal isolée, l'autre en supposant une maison plutôt bien isolée. Notons que ce facteur de 10 est plus compatible avec la proportion relative de degrés-jours de chauffage et de refroidissement observés pour la période à l'étude.

**Tableau 4-2 - Estimation de la consommation normalisée**

		Source	Ensemble	AI	Maisons neuves	Bâtiments existants
C	Énergie de chauffage nécessaire pour la maison (kWh)		24 514		25 122	23 876
PA4	Ratio énergie pour le chauffage ÷ énergie pour la climatisation	PJ	10	4	10	10
D	Consommation de climatisation (kWh)		1 532		1 570	1 492

La consommation de refroidissement (2009-2010) est obtenue directement à partir de l'énergie nécessaire pour le chauffage à l'aide du facteur mentionné précédemment (20 428 kWh / 10 = 2 043 kWh).

À la ligne D du tableau 4-2, on corrige ensuite cette consommation pour obtenir une **consommation de climatisation normalisée** en fonction des degrés-jours de climatisation d'une année typique. Le facteur de correction que nous avons retenu, en se basant sur l'analyse des données météo de Montréal et Québec par notre expert, est de 0,75 (2 043 kWh X 0,75 = 1 532 kWh pour une année typique).

<sup>5</sup> Il est normal que la consommation obtenue soit élevée, car les résidences des participants sont plus imposantes que la maison moyenne (3 600 pieds carrés et valeur moyenne de 450 000 \$ selon les estimations des participants).

<sup>6</sup> Compte tenu du fait que la vaste majorité des participants proviennent de l'extérieur de la RMR de Montréal (région métropolitaine de recensement qui correspond approximativement à la grande région de Montréal), le choix de la ville de Québec apparaissait plus pertinent pour mener les simulations.

## 4.3. Évaluation du gain unitaire

### Un gain unitaire moyen de 14 330 kWh par participant

Le tableau 4-3 présente les paramètres utilisés afin de calculer le gain unitaire pour les participants au programme. Le détail des calculs est présenté à l'annexe 2.

**Tableau 4-3 - Principaux paramètres du calcul du gain unitaire**

		Source	Total	AI	Maisons neuves	Bâtiments existants
C	Énergie de chauffage normalisée nécessaire pour la maison (kWh)		24 514		25 122	23 876
D	Consommation normalisée de climatisation (kWh)		1 532		1 570	1 492
PA5	Efficacité réelle moyenne d'une thermopompe air-air	PJ	1,5	1,33	1,5	1,5
E	Consommation de chauffage avec thermopompe air-air (kWh)		16 751		17 167	16 315
F	Consommation de chauffage avec plinthes (kWh)		24 514		25 122	23 876
DO2	Proportion de thermopompes dans la population étudiée	SOM	29 %		38 %	18 %
G	Consommation de référence moyenne pour le chauffage (kWh)		22 263		22 099	22 515
H	<b>Économies d'énergie moyennes liées au chauffage (kWh)</b>		14 496		14 139	14 950
PA6	Proportion de la climatisation fournie par le système	AI/ PJ	1	1	1	1
PA7	Efficacité réelle moyenne de refroidissement de la géothermie	PJ	5,1	3,5	5,1	5,1
PA8	Efficacité réelle moyenne de refroidissement du système de référence	PJ	3,4	2,5	3,4	3,4
DO3	Proportion des maisons climatisées	SOM	30 %	100 %	30 %	30 %
I	<b>Économies d'énergie moyennes liées à la climatisation (kWh)</b>		-165		-169	-161
J	<b>Gains unitaires (kWh par an)</b>		14 330		13 970	14 789

Une fois l'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation établie, on obtient le gain unitaire en comparant la consommation du système géothermique à la consommation d'un système de référence. Le système de référence est établi sur la base des proportions de thermopompes air-air et de systèmes électriques (à plinthes ou fournaise centrale électrique) observés avant la conversion (bâtiments existants) ou envisagés par le propriétaire avant de choisir la géothermie (maisons neuves). Ces données ont été obtenues lors du sondage. Le gain unitaire qu'on obtient avec cette méthode correspond à l'effet de l'ensemble des programmes dont ont bénéficié les participants, incluant le programme d'HQD, le programme de l'AEE et celui de l'OEE. Il faut donc calculer l'effet de l'opportunité et la part du programme d'HQD pour obtenir les économies d'énergie nettes du programme.

## 4.4. Taux d’opportuniste

### Méthodologie d’évaluation de l’opportuniste

La méthode utilisée pour déterminer le taux d’opportuniste repose essentiellement sur la moyenne des résultats à quatre questions. Plus précisément, chaque répondant se voit assigner un facteur d’opportuniste (et donc un taux d’influence du programme) selon ses réponses à chacune des questions. Le tableau 4-4 présente le taux d’opportuniste attribué à chaque choix de réponse pour chaque question utilisée pour construire le taux d’opportuniste global. Il s’agit d’une méthode d’attribution que nous avons développée dans le cadre de l’évaluation d’un autre programme d’HQD (Appui aux initiatives – systèmes industriels) avec l’aide de Nick Hall (TecMarket Works).

**Tableau 4-4 - Méthode de calcul de l’opportuniste**

#	Réponse donnée	Facteur d’opportuniste (%)	Taux d’influence (%)
		Total de chaque ligne = 100 %	
OPP1	Aviez-vous prévu de faire installer votre système géothermique avant même d’entendre parler des subventions offertes par HQD, l’Agence de l’efficacité énergétique du Québec et l’Office de l’efficacité énergétique du Canada?		
	Oui	80 %	20 %
	Non	0 %	100 %
	Ne sait pas/ne répond pas	50 %	50 %
OPP2	Les subventions offertes constituent-elles... de faire installer votre système géothermique?		
	La principale raison qui explique votre décision	10 %	90 %
	Une raison importante parmi d’autres	25 %	75 %
	Une des raisons, mais pas la plus importante	45 %	55 %
	Une raison secondaire	70 %	30 %
	Elles n’ont eu aucun impact sur votre décision	90 %	10 %
	Ne sait pas/ne répond pas	45 %	55 %
OPP3	Même si les subventions offertes par les différents organismes n’avaient pas été disponibles, vous auriez fait installer le même système?		
	Tout à fait d’accord	80 %	20 %
	Plutôt d’accord	30 %	70 %
	Plutôt en désaccord	10 %	90 %
	Tout à fait en désaccord	0 %	100 %
	Ne sait pas/ne répond pas	45 %	55 %
OPP5	Même si les subventions offertes par les différents organismes n’avaient pas été disponibles, vous auriez fait installer le système géothermique <u>au même moment</u> ?		
	Tout à fait d’accord	80 %	20 %
	Plutôt d’accord	30 %	70 %
	Plutôt en désaccord	10 %	90 %
	Tout à fait en désaccord	0 %	100 %
	Ne sait pas/ne répond pas	45 %	55 %

Le tableau 4-5 présente les taux d'opportunité moyens obtenus pour chaque question. On constate que les résultats obtenus à l'aide de chaque question sont cohérents, ce qui justifie l'utilisation d'un poids égal pour chacune des questions dans le calcul de la moyenne (une pondération différente de chacune des quatre questions donnerait de toute façon des résultats similaires). Par ailleurs, le taux d'opportunité varie considérablement selon le montant investi et la valeur de la maison. Lorsque la dépense pour le système de géothermie est élevée, la subvention représente une plus faible proportion du montant total. Il est donc normal dans ce cas que le taux d'opportunité soit plus élevé, car la subvention a moins d'influence sur la décision.

**Tableau 4-5 - Opportunisme – résultats**

	<b>Ensemble</b>
<b>Global</b>	<b>49 %</b>
OPP1 Prévu installer avant	59 %
OPP2 Importance des subventions	50 %
OPP3 Aurait fait installer le même système	43 %
OPP5 Aurait fait installer au même moment	46 %
<b>Maisons neuves</b>	<b>60 %</b>
<b>Bâtiments existants</b>	<b>34 %</b>
• Prix payé pour le système	
o Moins de 25 000 \$	38 %
o 25 001 \$ à 30 000 \$	46 %
o 30 001 \$ à 40 000 \$	50 %
o Plus de 40 000 \$	63 %
• Valeur de la maison	
o Moins de 200 000 \$	38 %
o 200 000 \$ à 299 999 \$	41 %
o 300 000 \$ à 399 999 \$	49 %
o 400 000 \$ à 499 999 \$	53 %
o 500 000 \$ ou plus	59 %

### Un taux d'opportunité élevé

Le taux d'opportunité se situe donc à 49 %. Il est plus élevé (60 %) dans la maison neuve que pour le bâtiment existant (34 %), là où le montant potentiel total de subventions est plus élevé.

Ces résultats sont cohérents avec les motifs d'installation de la géothermie où les programmes de subvention sont loin de toujours expliquer la décision des consommateurs.

### 4.5. Attribution des gains aux organismes subventionnaires

L'un des enjeux de cette évaluation était de déterminer un poids pour les différents organismes subventionnaires de systèmes géothermiques afin de pondérer les économies d'énergie en fonction des différentes subventions reçues par les participants au programme d'HQD pour le segment des bâtiments existants. En effet, les participants au programme de géothermie d'HQD ont aussi reçu des subventions provenant de l'AEE et de l'OEE (bâtiments existants).

Pour départager les influences, nous avons utilisé les résultats du sondage auprès des participants et nous avons tenu compte de six dimensions qui expriment le poids des différents organismes :

1. Le poids financier de chaque programme, c'est-à-dire de la subvention accordée.
2. La notoriété spontanée des programmes (exprimée sous forme de poids pour que le total des poids donne 100 %).
3. La notoriété assistée des programmes (exprimée sous forme de poids pour que le total des poids donne 100 %).
4. La crédibilité des organismes (exprimée sous forme de poids pour que le total des poids donne 100 %).
5. La part des organismes comme source d'information sur la géothermie (exprimée sous forme de poids pour que le total des poids donne 100 %).
6. La part des programmes de chaque organisme comme motif de choix de la géothermie (exprimée sous forme de poids pour que le total des poids donne 100 %).

Le tableau 4-6 présente le poids du programme d'Hydro-Québec pour chacune des six dimensions. On présente aussi ces résultats pour les maisons neuves et les bâtiments existants.

**Tableau 4-6 - Poids du programme d'HQD pour chaque dimension**

Dimensions	Total	Maisons neuves	Bâtiments existants
Poids financier réel (% des subventions versées)	62 %	100 %	30 %
Notoriété spontanée	87 %	88 %	85 %
Notoriété assistée	44 %	50 %	38 %
Part de crédibilité	35 %	35 %	34 %
Part comme source d'information	46 %	51 %	41 %
Part comme motif de choix	49 %	66 %	35 %

Une fois la part de chaque programme établie pour chaque dimension, nous avons fait une moyenne des résultats obtenus pour les six dimensions, mais en accordant une importance différente à chaque dimension. Le tableau 4-7 présente l'importance de la pondération que nous avons attribuée pour les différentes dimensions ayant servi à calculer le poids global de chaque programme.



**Tableau 4-7 - Importance accordée à chaque dimension composant le poids global**

Total	100 %
Poids financier réel (% des subventions versées)	50 %
Notoriété spontanée	10 %
Notoriété assistée	10 %
Part de crédibilité	10 %
Part comme source d'information	10 %
Part comme motif de choix	10 %

### Le poids d'HQD dans la répartition des gains est plus élevé

Le tableau 4-8 présente le poids relatif de chaque programme pour l'ensemble des participants au programme d'HQD de même que pour les maisons neuves et les bâtiments existants. Globalement, c'est le programme d'HQD qui obtient le poids le plus important. Même dans le bâtiment existant où l'OEE offrait la subvention la plus importante, HQD obtient un poids à peu près équivalent en raison de la notoriété beaucoup plus élevée de son programme.

**Tableau 4-8 - Poids relatifs des programmes**

	Total	Maisons neuves	Bâtiments existants
HQD	57 %	79%	38 %
AEE	16 %	12 %	22 %
OEE	27 %	9 %	40 %
Total des poids	100 %	100 %	100 %

**Constat : Par la notoriété élevée d'HQD et le fait qu'il s'adresse à la fois aux bâtiments existants et aux maisons neuves, le programme d'HQD est celui qui a eu le plus de poids auprès des participants au programme.**

Le programme d'HQD est celui qui a eu le plus d'influence chez les participants qui en ont bénéficié et 57 % des économies d'énergie (1,8 GWh) lui reviennent (79 % ou 1,1 GWh dans les maisons neuves et 38 % ou 0,7 GWh dans les bâtiments existants). Même si l'OEE a versé plus d'argent aux participants dans le segment des bâtiments existants, la notoriété d'HQD et son influence en ont fait une locomotive pour la géothermie. C'est ce qui explique son poids plus important dans la décision d'installer un système de géothermie.

#### 4.6. Les économies d'énergie attribuables au programme d'HQD

##### Des économies d'énergie nettes de 1,8 GWh

Le gain unitaire brut est de 14 330 kWh et le nombre de participants est de 431. Toutefois, le taux d'opportunisme élevé (49 %) et l'effet du partage des gains (poids des programmes) entre les trois organismes subventionnaires (57 % des gains sont attribuables au programme) viennent diminuer de manière importante les économies d'énergie générées par les participants. Les économies d'énergie nettes du programme d'HQD se chiffrent à 1,8 GWh, un résultat inférieur aux objectifs initialement déposés à la Régie (4,5 GWh) et aux résultats dans le système de suivi d'HQD (3,6 GWh).

**Tableau 4-9 - Données du suivi des résultats du programme et évaluation de l'impact énergétique**

		Ensemble			Maisons neuves	Bâtiments existants
		2008	2009	Total		
Années civiles visées par l'évaluation						
<b>Nombre d'unités par année (participants)</b>	<b>Nombre</b>	<b>143</b>	<b>288</b>	<b>431</b>	<b>248</b>	<b>183</b>
<b>Effets de distorsion négatifs (%)</b>						
Opportunistes	%	-49 %			-60 %	-34 %
<b>Nombre d'unités - nets des effets de distorsion</b>	<b>Unités</b>	<b>73</b>	<b>147</b>	<b>220</b>	<b>99</b>	<b>121</b>
Économies unitaires brutes présumées	kWh/an	14 330	14 330	14 330	13 970	14 789
Part des économies attribuable à HQD	%	57 %			79 %	38 %
<b>Impact énergétique net du programme</b>	<b>GWh/an</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>
<b>Suivi interne du programme de HQD</b>	<b>GWh/an</b>	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	<b>3,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>
Écart avec le suivi (redressement)	GWh/an	-0,6	-1,2	-1,8	-0,6	-1,2
<b>Taux de réalisation du suivi</b>	<b>%</b>	<b>50 %</b>			<b>65 %</b>	<b>37 %</b>

## 5. Mise en contexte de l'impact énergétique du programme

Dans cette section, nous présentons les constats de l'évaluation qui ne touchent pas directement au calcul de l'impact énergétique du programme, mais qui permettent de mieux le cerner. Les constats touchent les aspects suivants :

1. Objectifs du programme et contraintes de conception (section 5.1)
2. Impact des exigences du programme (section 5.2)
3. Notoriété de la géothermie et des programmes de subvention (section 5.3)

### 5.1. Objectifs et contraintes de conception

#### Des objectifs plus larges que l'impact énergétique

L'objectif ultime demeure la réalisation d'économies d'énergie, mais le programme poursuit aussi d'autres objectifs impliquant des actions qui ne provoquent pas nécessairement des économies d'énergie à court terme. Rappelons ces autres objectifs qui sont :

- Stimuler la demande pour des systèmes géothermiques grâce à un appui financier sous forme de « prime géothermique » permettant la réduction du coût initial en capital et une diminution de la période de retour sur l'investissement en échange d'exigences de qualité pour les installations.
- Structurer l'offre en géothermie en soutenant un processus de qualité, la promotion et la diffusion d'information technique ainsi que par le soutien à l'innovation.

Comme la subvention visait aussi à améliorer la qualité des systèmes et qu'on souhaitait contribuer à la structuration de l'industrie, apprécier le programme uniquement sous l'angle des économies d'énergie réalisées à court terme ne représente donc qu'une analyse partielle de celui-ci.

#### Des contraintes liées au marché et aux ressources disponibles lors de la conception

Les concepteurs du programme ont dû faire face à des contraintes particulières et n'avaient que des ressources limitées pour le mettre sur pied dans une optique de rentabilité. Le coût initial en capital et les PRI élevées amenaient un potentiel commercial limité et une faible marge de manœuvre pour les montants alloués au programme. Le programme devait donc rester léger dans sa forme et ses processus afin de limiter son ampleur budgétaire.

Les concepteurs du programme d'HQD étaient également conscients des réticences de l'industrie du chauffage et de la climatisation face aux normes et règles imposées par des intervenants extérieurs à leur domaine. Il faut également se rappeler que l'industrie des thermopompes air-air avait mauvaise presse au Québec compte tenu de la présence sur le marché d'installateurs ne maîtrisant pas cette technologie et promettant des économies d'énergie irréalistes aux consommateurs. Ce contexte plus global dans l'industrie du chauffage et de la climatisation a forcé les concepteurs du programme d'HQD à la plus grande prudence afin d'éviter que le programme ne serve de rampe de lancement à des entrepreneurs pas suffisamment qualifiés ou malhonnêtes.

Enfin, les concepteurs ne souhaitent pas créer artificiellement une industrie qui s'effondrerait le jour où le programme prendrait fin.

### **Un impact positif du programme sur les façons de faire des acteurs commerciaux**

De l'aveu même des acteurs commerciaux interrogés dans le cadre du sondage, les programmes de subvention, avec l'obligation de la certification, ont changé positivement les pratiques. De manière spontanée, ils identifient l'assurance de la qualité du travail (31 %), l'élimination d'entrepreneurs incompetents (19 %), la meilleure uniformité des installations (11 %) et l'amélioration de la crédibilité de l'industrie (9 %) comme étant les principaux impacts positifs. Bien plus, 43 % affirment avoir changé leurs façons de faire à la suite de l'arrivée des programmes de subvention et de la certification, notamment en faisant des calculs plus précis, en se conformant aux normes, en ayant une meilleure qualité technique, en ayant des installations de meilleure qualité, ou en étant plus rigoureux dans les procédés de tests et leur application.

***Constat : Un programme bien conçu en fonction des contraintes qui a su contribuer à la structuration de l'industrie et à la qualité des travaux tout en demeurant une intervention légère.***

*Compte tenu des objectifs de départ, des contraintes liées au marché et des ressources disponibles, HQD a conçu un programme qui a su répondre à l'essentiel des enjeux identifiés au départ. Comme le programme visait des objectifs ne générant pas nécessairement des économies d'énergie à court terme et se voulait une intervention la plus légère possible, il est normal que l'impact du programme ne se traduise pas nécessairement directement en économies d'énergie. L'intervention d'HQD correspond parfaitement aux objectifs qualitatifs qu'elle s'était fixés quant à la structuration de l'industrie, à la qualité des travaux et à l'économie des moyens utilisés.*

## **5.2. Impact des exigences du programme**

### **Un processus de certification qui a un impact à la hausse sur les coûts**

Le programme d'HQD exige que les systèmes soient certifiés par la CCEG. Pour ce faire, l'installation doit respecter la norme CSA-C448. Selon les experts consultés, trois aspects de la norme amènent des coûts supplémentaires par rapport à la pratique courante qui existait avant son imposition soit : l'injection de coulis, le calcul des pertes thermiques et les tests sur le circuit géothermique.

#### **1. Injection de coulis**

L'injection de coulis amène des coûts supplémentaires, car elle exige l'utilisation d'une machine qui doit être transportée sur le site et opérée par deux employés. De plus, le coût d'achat du coulis est environ trois fois plus élevé que le coût d'achat du sable traditionnellement utilisé pour remplir les trous de forage. L'injection de coulis peut aussi nécessiter l'utilisation d'accessoires comme des écarteurs pour s'assurer du bon espacement des tuyaux de la boucle avant l'injection du coulis. À partir des estimations des experts consultés, on estime qu'il y aurait un coût supplémentaire d'environ 3 \$ le pied linéaire. Cela signifie que pour un projet comportant 450 pieds de forage, le coût supplémentaire pour l'injection de coulis peut se chiffrer à environ 1 350 \$. Il s'agit de l'élément de la norme qui a le plus d'impact sur les coûts.

### 2. Calcul des pertes thermiques

La norme exige que la capacité de chauffage nominal du système géothermique ne soit pas inférieure à 70 % de la charge de chauffage de pointe du bâtiment. Cette norme oblige les concepteurs à dimensionner plus précisément les systèmes qu'ils installent et à investir un peu plus de temps pour faire leurs calculs. Selon les experts consultés, on peut compter de deux à trois heures de travail supplémentaires à un prix moyen d'environ 100 \$ de l'heure, ce qui représenterait entre 200 \$ et 300 \$ de plus par rapport à un entrepreneur qui dimensionnerait son système à partir d'estimations plus approximatives, voire selon les « règles du pouce ».

### 3. Tests sur le circuit géothermique

La norme exige certaines vérifications du circuit géothermique avant la mise en marche du système. Selon les experts consultés, cela représenterait une à deux heures de travail par puits de forage. Sur un projet résidentiel type avec un seul puits de forage, cela signifierait des coûts supplémentaires d'environ 200 \$.

**Constat :** *L'imposition de la norme contribue à réduire l'effet positif de la subvention sur la demande.*

*L'imposition de la norme pour être admissible au programme nous apparaît totalement justifiée et conforme aux objectifs du programme. Toutefois, son respect entraîne certains surcoûts par rapport à la pratique courante (hors de la norme) ce qui réduit nécessairement l'influence de la subvention d'HQD et des autres organismes subventionnaires. En effet, les subventions visent à réduire le prix des systèmes et ainsi à stimuler l'apparition de projets qui n'auraient pas eu lieu autrement. Le respect de la norme vient en partie annihiler cet effet recherché puisque l'impact à la baisse sur le coût est réduit de façon sensible.*

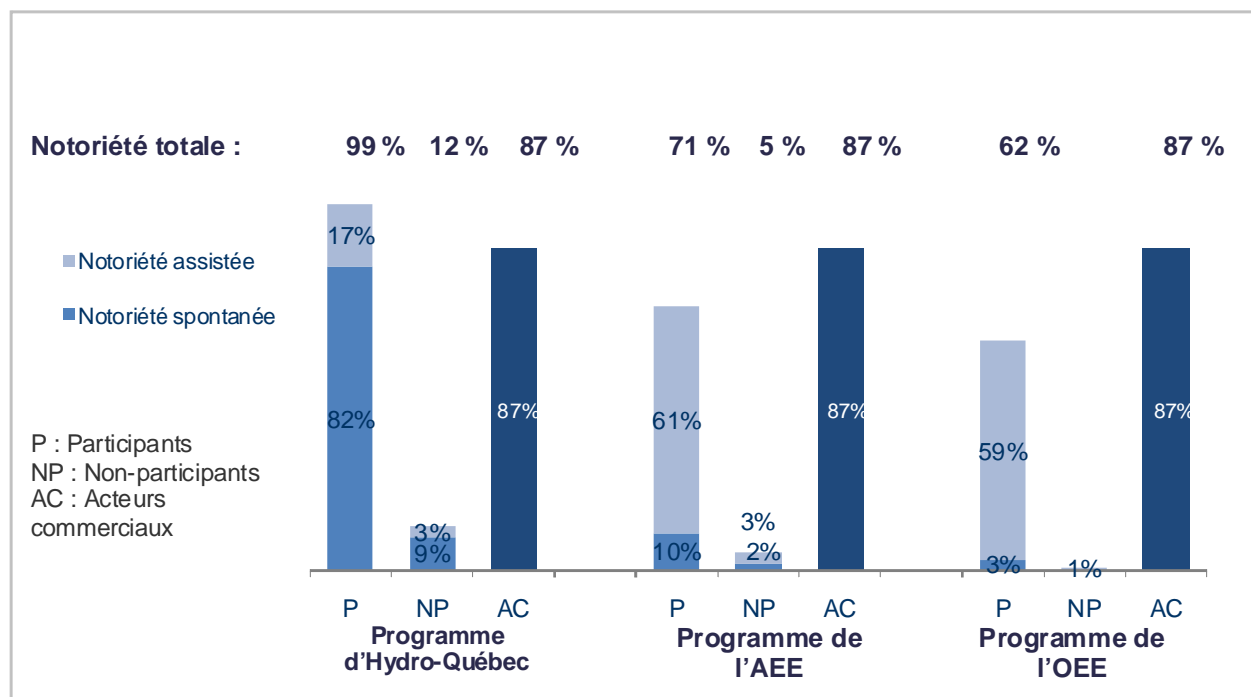
## 5.3. Notoriété de la géothermie et des programmes de subvention

### La géothermie mieux connue des consommateurs, mais les programmes le sont moins

Depuis 2006, la notoriété de la géothermie a fait un bond de 20 %, passant de 48 % à 68 % chez les non-participants. Les activités de communication générées par le programme et les activités de la CCEG ont très probablement joué un rôle puisqu'il s'agit d'éléments de promotion de la géothermie qui n'étaient pas présents dans le marché auparavant. L'évolution de l'achalandage du site internet d'HQD confirme la hausse de l'intérêt des consommateurs avec ses 20 020 visites pour la section géothermie en 2007, 45 541 visites en 2008 et 52 409 en 2009.

**Diagramme 5-1 - Notoriété spontanée et totale<sup>7</sup> des différents programmes de subvention**

(Base : ensemble des participants, n:227)



S'il est le plus connu des trois programmes de subvention de la géothermie résidentielle, le programme d'HQD reste cependant relativement peu connu (12 %) des non-participants comme l'illustre le diagramme 5-1.

**Constat : La notoriété de la géothermie augmente, mais celle du programme reste faible dans l'ensemble.**

*La promotion de la géothermie par les différents organismes a été efficace puisque la notoriété a crû considérablement. Par contre, le programme d'HQD demeure assez peu connu auprès des non-participants et des efforts de promotion restent à faire. On peut raisonnablement penser qu'une meilleure notoriété du programme aurait un effet positif sur le nombre de projets d'installation géothermique. La faible notoriété du programme doit toutefois être considérée en tenant compte du fait que les systèmes de géothermie s'adressent principalement à une portion restreinte de l'ensemble des ménages.*

<sup>7</sup> La notoriété spontanée est obtenue sans suggérer le nom et la description du programme. La notoriété assistée est obtenue en nommant et décrivant le programme. La notoriété totale est la somme des notoriétés spontanée et assistée.

### 6. Conclusions et recommandations

#### 1. **HQD a conçu rigoureusement, compte tenu des objectifs et des contraintes de départ, un programme dont les effets dépassent les économies d'énergie**

Malgré les contraintes liées au marché et aux ressources disponibles, HQD a conçu de façon rigoureuse un programme qui a su répondre à l'essentiel des enjeux identifiés dans le cadre de sa conception. Au-delà de la stimulation de la demande, le programme a contribué à structurer l'offre, l'un de ses objectifs de départ. Le programme, en exigeant la certification de la CCEG, a contribué à changer positivement les pratiques des entrepreneurs et à améliorer la qualité.

Recommandation : L'appréciation des résultats du programme doit tenir compte de l'ensemble des objectifs de départ (qualité des systèmes et structuration de l'industrie) et pas seulement de l'objectif ultime de générer des économies d'énergie.

#### 2. **Des économies d'énergie moins élevées que prévu, réduites par un taux d'opportunité élevé et un partage entre les organismes subventionnaires**

Les économies d'énergie nettes générées par le programme d'HQD sont plus faibles que prévu (1,8 GWh au lieu de 3,6 GWh dans le système de suivi et 4,5 dans les objectifs déposés à la Régie), même si les économies d'énergie brutes moyennes de 14 330 kWh par ménage annuellement demeurent très importantes. Le taux d'opportunité élevé (49 %) et le partage des gains entre les organismes subventionnaires (57 % pour HQD) pèsent très lourd comme éléments d'explication de cette performance.

Recommandation : HQD doit actualiser l'analyse de rentabilité économique du programme avec les taux d'opportunité réels qui lui sont associés tout en tenant compte de l'existence des autres programmes de subvention. On recommande à Hydro-Québec d'utiliser les résultats de la présente évaluation dans ses systèmes de suivi.

#### 3. **Le respect de la norme exigée pour bénéficier du programme est justifié, mais le fait que cette norme entraîne des surcoûts réduit l'impact des subventions en atténuant l'effet à la baisse sur le prix des systèmes**

L'imposition de la norme pour être admissible au programme nous semble totalement justifiée. Toutefois, son respect entraîne certains surcoûts par rapport à la pratique courante (hors de la norme), ce qui réduit nécessairement l'influence sur le marché de la subvention d'HQD et des autres programmes de subvention. L'imposition inégale du Code national du bâtiment le plus récent dans les municipalités du Québec rend possible l'installation de systèmes non conformes à la norme qui évitent les surcoûts qui lui sont liés.

Recommandation : HQD doit favoriser l'adoption d'une norme uniforme comme critère obligatoire pour l'installation d'un système de géothermie, ce qui permettrait d'éliminer l'écart de prix avec les projets hors programme. La subvention fera alors une véritable différence pour tous les systèmes installés.

### 7. Bibliographie et références

- Géothermie - Document de conception Phase 1 : marché résidentiel, HQD, 2006.
- Plan d'évaluation de programme Géothermie – Marché résidentiel, HQD, 2010.
- Guide de demande de subvention pour l'achat et l'installation d'un système géothermique, HQD, 2010.
- État de l'industrie canadienne de la géothermie 2010, CCEG, 2010.
- Pompes à chaleur géothermique (PACG) – Stratégie de développement du marché, Ressources naturelles Canada, 1999.
- Guide d'achat d'un système géothermique résidentiel, CCEG, 2009.
- Influence des conditions hydrogéologiques sur le choix des matériaux de remplissage, Philippe Pasquier, ing., Ph.D. Département des génies civils, géologiques et des mines, École polytechnique de Montréal, 4<sup>e</sup> Colloque national : techniques et politiques de la géothermie, 2010.
- PGEE 2005-2010, Budget 2006, Preuve, HQD, Demande R-3584-2005
- PGEE 2005-2010, Annexe B, PTE d'économies d'énergie électrique, HQD, Demande R-3584-2005
- PGEE Suivi de la décision D-2006-56, HQD, Demande R-3610-2006
- PGEE Budget 2007, Preuve, HQD, Demande R-3610-2006.
- PGEE Budget 2008, HQD, Demande R-3644-2007.
- PGEE Budget 2009, HQD, Demande R-3677-2008.
- Étude du marché de la géothermie, Pageau Morel et associés inc., HQD, 2006.
- Norme CAN/CSA-C448 Série 02, Association canadienne de normalisation, 2009.
- Demande d'accréditation – concepteurs, CCEG.
- Demande d'accréditation – installateurs, CCEG.
- Demande de certification d'un système géothermique, CCEG.
- Étude des prix d'installation, CCEG, 2009.
- The state of the Canadian GeoExchange Industry 2008, CCEG, 2009.
- Rapports d'activités, CCEG, 2009.
- Rapport de conformité CSA-C448, CCEG.
- Rapport de forage, CCEG.
- Géothermie au marché résidentiel – stratégies de communication, HQD.
- Nouvelle construction résidentielle, NCR 2008, Saine Marketing, 2009.
- Géothermie – Groupes de discussion, Saine Marketing, 2009.
- Plans médias – Géothermie, HQD, 2008, 2009 et 2010.
- Plan de commercialisation Géothermie, HQD, 2009.
- Prévisions budgétaires 2006-2010, HQD, 2006.
- Analyse des parties prenantes, HQD, 2006.
- Demandes de changement - Géothermie, HQD, 2008 et 2009.



### Annexe 1 : Explications détaillées des calculs de l'énergie pour le chauffage

#### Étapes détaillées des principaux calculs illustrés au diagramme 4-1

- Case 1A/B : On part de l'hypothèse que 51 % (PA1) de la consommation d'énergie de la maison est consacré au chauffage (et donc que 49 % est consacré aux autres usages).
- Case 2A : En considérant que 95 % (PA2) de l'énergie consacrée au chauffage sera fourni par la géothermie, on peut déduire que l'énergie fournie par la géothermie représente 48,45 % du total.
- Case 2B : De la même façon, on peut aussi calculer que le chauffage d'appoint représente 2,55 % de l'énergie totale.
- Case 3 : Si l'efficacité<sup>8</sup> est de 3,56 (PA3), la consommation électrique de la thermopompe représente 13,61 % (48,45 % ÷ 3,56) de la consommation totale d'énergie de la résidence.
- Case 4 : Par une simple soustraction, on peut alors calculer la portion de l'énergie totale qui sera puisée dans le sol, soit 34,84 % de l'énergie totale (100 % - 49 % - 2,55 % - 13,61 %).
- Case 5 : On peut obtenir la consommation électrique pour le chauffage en additionnant la consommation électrique de la thermopompe et celle du système d'appoint (16,16 % = 13,61 % + 2,55 %).
- Case 6 : L'importance relative de chaque segment de la consommation d'énergie totale ayant été calculée précédemment, on peut facilement établir l'importance relative de la consommation électrique de la résidence (65,16 %) par de simples additions des cases précédentes.

#### Consommations illustrées au diagramme 4-2

Une fois qu'on a calculé les proportions que représentent chacune des cases du diagramme 4-1, on peut facilement (par l'application de règles de trois) calculer la consommation en kWh pour chacune des cases puisqu'on sait que la consommation électrique du ménage est de 26 100 kWh et qu'elle représente 65,16 % de l'énergie totale consommée par la résidence. Les consommations en kWh sont indiquées au diagramme 4-2.

#### Étapes détaillées des calculs du tableau 4-1

- Ligne A : Le calcul de la proportion de l'énergie électrique consommée consacrée au chauffage s'obtient alors facilement (16,16 % ÷ 65,16 % = 24,80 %).
- Ligne B : L'énergie nécessaire pour le chauffage est ensuite obtenue par une simple règle de trois, au diagramme 4-2 (26 100 kWh X (51 % ÷ 65,16 %) = 20 428 kWh)

---

<sup>8</sup> L'efficacité est le ratio entre l'énergie de chauffage/climatisation fournie et l'énergie consommée par le système.

## Annexe 2 : Explications détaillées des calculs du gain unitaire

### Explications détaillées du tableau 4-3

Ligne PA5 :	L'efficacité réelle moyenne d'une thermopompe air-air (PA5) est estimée à 1,50, une valeur légèrement modifiée par notre expert par rapport à la valeur originale de l'algorithme d'ingénierie. Des simulations du logiciel DOE2 récentes pour le nord de l'État de New York (Massena) estiment le COP des thermopompes existantes à 1,4 et à 1,6 pour les nouvelles. L'utilisation d'un COP moyen de 1,5 est donc recommandé.
Ligne E :	La consommation d'électricité avec une thermopompe air-air (E) est obtenue en faisant l'hypothèse que 95 % de l'énergie nécessaire pour le chauffage est fournie par la thermopompe air-air (avec une efficacité de 1,5) et que 5 % est fournie avec un système d'appoint par plinthe ( $95 \% \times 24\ 514 / 1,5 + 5 \% \times 24\ 514 \text{ kWh} = 16\ 751 \text{ kWh}$ ).
Ligne F :	La consommation avec plinthes ou fournaise électrique (F) est obtenue directement de la ligne C puisque l'efficacité des plinthes est de 1.
Ligne DO2 :	La proportion de thermopompes dans la population étudiée (DO2) est tirée des sondages. Pour les conversions, il s'agit de la proportion de thermopompes avant la géothermie alors que pour les maisons neuves, il s'agit de la proportion des propriétaires qui auraient installé une thermopompe s'ils n'avaient pas choisi la géothermie.
Ligne G :	La consommation moyenne de référence (G) est obtenue en faisant la moyenne pondérée (en tenant compte de leurs proportions respectives, soit : 29 % et 71 %) des consommations des systèmes à plinthes et des thermopompes air-air ( $29 \% \times 16\ 751 \text{ kWh} + 71 \% \times 24\ 514 \text{ kWh} = 22\ 263 \text{ kWh}$ ).
Ligne H :	Les économies d'énergie moyennes liées au chauffage (H) sont obtenues en faisant la différence entre la consommation moyenne de référence et la consommation électrique de chauffage (normalisée) après l'installation de la géothermie ( $22\ 263 \text{ kWh} - (1,2 \times 6\ 473 \text{ kWh}) = 14\ 496 \text{ kWh}$ ).
Ligne PA6 :	À la ligne PA6, on fait l'hypothèse que toute la climatisation est fournie par le système de géothermie, tout comme dans l'algorithme d'ingénierie.
Ligne PA7-8 :	Les lignes PA7 et PA8 représentent l'efficacité moyenne de refroidissement de la géothermie (PA7 : 5,1) et du système de climatisation de référence (PA8 : 3,4) telle que révisée par notre expert. Les paramètres utilisés dans l'algorithme d'ingénierie pour ces deux aspects étaient respectivement de 3,5 et 2,5. Considérant que la plupart des systèmes d'air conditionné existants ont des rendements énergétiques saisonniers (SEER) de 10 et que les exigences pour les nouveaux systèmes sont de 13, un COP moyen de 3,4 a été utilisé pour le système de référence, en supposant la moitié de systèmes existants et la moitié de systèmes neufs. Le COP de la géothermie a donc été établi à 5,1 (en considérant un COP de 1,5 pour la thermopompe).
Ligne DO3 :	La ligne DO3 est tirée des sondages (proportion des résidences climatisées avant l'installation de la géothermie, 30 %). L'algorithme d'ingénierie calculait les économies d'énergie de climatisation comme si toutes les résidences du système de référence étaient climatisées. Nous faisons ici une hypothèse qui nous semble plus réaliste et est plus conservatrice. Notons que l'on applique la même proportion de maisons climatisées (30 %) pour les maisons neuves (qui auraient été climatisées en l'absence de géothermie).
Ligne I :	Les économies d'énergie moyennes liées à la climatisation (I) sont obtenues en calculant la dépense d'énergie supplémentaire pour une maison de référence non climatisée et les économies d'énergie d'une maison de référence climatisée et en faisant la moyenne pondérée, compte tenu de leurs proportions respectives ( $70 \% \times -1532 / 5,1 + (30 \% \times (1532 / 3,4 - 1532 / 5,1)) = -165 \text{ kWh}$ ).
Ligne J :	La ligne J (économies d'énergie totales par an) est obtenue par l'addition des économies de chauffage et de climatisation ( $14\ 496 - 165 = 14\ 330 \text{ kWh}$ ). Cela représente 64 % de la consommation de référence (22 263 kWh).