

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉTUDES ET INTERVENTIONS RÉGIONALES

Par

Stéphan Tremblay

Pertinence de l'implantation de la filière granulé
de bois pour le Québec

30 octobre 2012

RÉSUMÉ DE MÉMOIRE

Les spécialistes avancent que le marché mondial de l'énergie en forte demande et en offre limitée nécessitera bientôt toutes les formes d'énergie disponibles. Le granulé de bois est une forme de bioénergie principalement utilisée pour le chauffage des bâtiments et pourrait être davantage considéré dans l'offre énergétique du Québec. Comme le Québec est un territoire où il fait froid et donc susceptible de pouvoir se tourner vers cette forme d'énergie, l'objectif de ce mémoire est d'en analyser les avantages.

Pour ce faire, nous commencerons par démontrer la croissance des besoins énergétiques sur les plans national et international et dresser un portrait des différentes formes d'énergies consommées au Québec.

Puisque la majorité des Québécois chauffent leurs bâtiments à l'hydroélectricité, nous analyserons à travers le plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec le portrait de la production et de la consommation de cette forme d'énergie renouvelable. Cela nous permettra de constater le défi face à la gestion de surplus importants, sauf pendant la période hivernale, et ce faisant, l'obligation de la société d'État d'utiliser davantage ses centrales au gaz ou de se tourner vers l'importation de l'électricité.

Dans la même lignée, un regard sera porté sur les perspectives d'utilisation de l'hydroélectricité sur les plans de la production d'aluminium, de l'exportation et de l'utilisation dans l'électrification des transports au Québec. Cette analyse se fera dans l'objectif de s'interroger sur la pertinence d'utiliser cette source d'énergie dans le chauffage plutôt que dans des secteurs plus créateurs de richesse.

Nous poserons ensuite l'hypothèse que le granulé de bois pourrait être un bon substitut à une autre forme d'énergie utilisée dans le chauffage, soit le mazout. Avant de dresser un portrait de ce combustible fossile, nous ferons celui de la production et de la consommation de granulés sur les plans régional, québécois, canadien, européen et mondial. Cela nous amènera par la suite à

comparer les deux formes d'énergie sous les angles de l'économie et des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Après cette comparaison théorique, a suivi une comparaison réelle faite à partir des résultats d'une expérience terrain où cinq maisons chauffant au mazout ont été converties aux granulés de bois. Cela nous a permis de constater d'une part la véracité de nos comparaisons théoriques, mais aussi d'évaluer les différentes techniques relatives au fait de passer d'une forme d'énergie liquide (le mazout) à une forme solide (le granulé).

REMERCIEMENTS

Pour entreprendre de grands défis, il faut parfois un élément déclencheur ou une bougie d'allumage. Je dois dire que celui qui a joué ce rôle est M. Bernard Landry, alors premier ministre du Québec. Celui-ci m'avait fait comprendre que si je voulais un jour accéder au conseil des ministres, il serait pertinent que je puisse avoir davantage de formation universitaire. De plus, en m'attribuant le poste de porte-parole officiel en matière d'environnement pour le parti, il a fait naître ma passion pour l'environnement et les énergies renouvelables.

Dans ma décision de m'inscrire à la maîtrise, Jean Wauthier a été un catalyseur. Il avait déjà eu un rôle similaire sur ma carrière politique, et une conversation au bon moment avec lui m'a permis de constater que la chose était possible.

À ma défunte mère et à mon père, merci de m'avoir inculqué l'importance de l'école. Merci aussi à ma femme Julie qui n'a cessé de me supporter et que j'ai rencontrée

au moment où je commençais ma maîtrise. Elle m'a toujours connu comme étudiant à temps partiel... Ainsi, trois enfants sont venus au monde avant que je n'accouche de ce mémoire!

La rédaction de ce mémoire a été précédée d'un travail terrain par la conversion au granulé de bois de cinq maisons. Ce fut un défi colossal rempli d'embûches techniques. Heureusement, j'ai pu compter sur mon « assistant de recherche » M. René Martel. Alors âgé de 72 ans, il est aujourd'hui décédé. Merci aussi à mon oncle Réal pour son aide manuelle dans ce projet. Merci à MM. Laurent Lamontagne et Ken St-Gelais de l'entreprise Granules LG pour leurs précieuses informations.

Merci à M. Claude Villeneuve de m'avoir intégré le temps d'une session à une cohorte en écoconseil; ce fut l'une de mes plus belles expériences universitaires. Merci à M. Marc-Urbain Proulx, mon directeur de maîtrise, de m'avoir continuellement encouragé, secoué et corrigé. J'ai aussi aimé nos conversations passionnantes à chacune de nos rencontres.

Pour leurs relectures, merci à mon amie Myriam Fortin de m'avoir donné espoir à un moment clé et à mon amie Julie Couture pour les corrections finales et pour m'avoir permis de voir la lumière au bout du tunnel. Merci à Geneviève Nootens pour ses commentaires et à mes deux évaluateurs, monsieur Jean-François Moreau et madame Véronique Gilain.

Enfin, merci à mon employeur Mallette (principalement MM. Serge Lemieux et Éric Boissonneault), de m'avoir poussé à terminer ce mémoire afin d'avoir mes « petites lettres » après mon nom et à Mme France Boudreault pour son support technique.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé de mémoire	ii
Remerciements.....	iv
Table des matières	vii
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures.....	xiv
Liste des annexes.....	xvii
Introduction.....	1
Chapitre 1 : Contexte énergétique	5
1.1 Portrait énergétique international.....	5
1.2 Portrait énergétique québécois	7
1.2.1 Dépenses totales en énergie au Québec (1983-2008).....	9
1.2.2 Dépenses des Québécois (particuliers) consacrées à l'énergie.....	10
1.3 Un pays d'hiver	11
Chapitre 2 : Problématique.....	15
2.1 Évolution des prix de l'énergie au Québec.....	16
2.2 Consommation de produits pétroliers au Québec.....	17
2.3 Prévisions des ventes d'électricité	18
2.4 Stratégie du plan d'approvisionnement 2011-2020	24

Chapitre 3 : Question de recherche	28
3.1 Hydroélectricité et production d'aluminium	30
3.2 Perspective Rio Tinto Alcan.....	32
3.3 Exportation d'électricité.....	33
3.3.1 Capacités d'interconnexion	36
3.3.2 Prévisions pour la demande américaine en électricité	38
3.4 Tendances d'électrification des transports.....	39
3.4.1 Le Québec.....	40
3.4.2 Forum Urba 2015.....	43
3.5 Retour sur la question principale	44
Chapitre 4 : Le granulé de bois	46
4.1 Autres énergies renouvelables.....	47
4.2 Le granulé de bois	49
4.2.1 Historique.....	49
4.3 Production et consommation de granulés de bois	51
4.3.1 Portrait régional.....	51
4.3.2 Portrait canadien.....	54
4.3.3 Portrait européen	55
4.3.4 Marchés mondiaux.....	65
4.3.5 Prévision de production	69
4.4 Électricité versus chaleur.....	70

Chapitre 5 : Granulé de bois versus mazout : étude comparative	74
5.1 Situation canadienne et québécoise	75
5.2 Mazout et gaz à effet de serre	79
5.3 Comparaison théorique.....	83
5.4 Pourcentage d'efficacité	84
5.5 Comparaison économique théorique	85
5.6 Prix du granulé de bois	87
5.7 Émissions de GES pour le mazout	89
5.8 Émissions de GES pour le granulé de bois.....	89
5.9 Bilan énergétique et bilan de GES.....	90
5.9.1 Impact GES du transport.....	94
Chapitre 6 - Étude comparative pratique	95
6.1 Méthodologie de mesurage	97
6.2 Historique de ravitaillement en litres	99
6.3 Moyenne de consommation annuelle et passée de mazout	102
6.4 Température extérieure	104
6.5 Échantillonnage de mazout.....	105
6.5.1 Échantillonnage de mazout - Maison 1	106
6.5.2 Échantillonnage de mazout - Maison 2	107
6.5.3 Échantillonnage de mazout - Maison 3	108
6.5.4 Échantillonnage de mazout - Maison 4	109
6.5.5 Échantillonnage de mazout - Maison 5	110

6.6	Moyenne quotidienne des échantillons de mazout	112
6.7	Consommation quotidienne de granulés de bois	112
6.8	Comparaison réelle.....	114
6.9	Comparaison économique réelle	118
6.10	Émissions réelles de CO ₂ du mazout.....	122
6.11	Comparaison avec l'électricité	123
6.11.1	Le prix de l'électricité.....	123
6.11.2	Pourcentage d'efficacité de l'électricité	124
6.11.3	Émissions de GES de l'électricité.....	126
Chapitre 7 : Convivialité de la filière énergétique		129
7.1	Entreposage et ravitaillement	129
7.2	Gestion des cendres.....	131
7.3	Test de combustion.....	134
Conclusion.....		136
Bibliographie.....		140
Annexes.....		144

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Prévision des ventes régulières au Québec par secteur de consommation (Scénario moyen en TWh).....	18
Tableau 2	Prévision des besoins en puissance à la pointe d'hiver par usages	19
Tableau 3	Prévision des besoins en énergie (besoins mensuels).....	20
Tableau 4	Bilan en puissance après déploiement des nouveaux moyens de gestion (en MW).....	25
Tableau 5	Caractéristiques de centrales thermiques d'Hydro-Québec	26
Tableau 6	Demande énergétique à venir pour les États-Unis	38
Tableau 7	Incitatifs fiscaux par type de véhicules.....	43
Tableau 8	Marché du granulé de bois en 2009	67
Tableau 9	Coefficients d'émission des produits pétroliers raffinés	80
Tableau 10	Facteur d'émissions et de charge	82
Tableau 11	Prix du mazout au Saguenay-Lac-Saint-Jean de 2008 à 2011.....	86
Tableau 12	Prix moyen du sac de 18,2 kg de granulés de bois de 2008 à 2011.....	87
Tableau 13	Comparaison du coût par rapport à la même quantité d'énergie	88
Tableau 14	Bilan énergétique et de GES de Granules LG de Saint-Félicien	93
Tableau 15	Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 1.....	99

Tableau 16	Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 2.....	100
Tableau 17	Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 3.....	100
Tableau 18	Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 4.....	101
Tableau 19	Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 5	101
Tableau 20	Consommation moyenne annuelle de mazout en litres	103
Tableau 21	Température moyenne mensuelle et DJC totaux de janvier à avril, de 2006 à 2009, Aéroport de Roberval	105
Tableau 22	Échantillonnage de mazout - Maison 1.....	107
Tableau 23	Échantillonnage de mazout - Maison 2.....	108
Tableau 24	Échantillonnage de mazout - Maison 3.....	109
Tableau 25	Échantillonnage de mazout - Maison 4.....	110
Tableau 26	Échantillonnage de mazout - Maison 5.....	111
Tableau 27	Moyenne quotidienne des échantillons de mazout.....	112
Tableau 28	Comparaison finale - Maison 1	116
Tableau 29	Comparaison finale - Maison 2.....	117
Tableau 30	Comparaison finale - Maison 3.....	117
Tableau 31	Comparaison finale - Maison 4.....	118
Tableau 32	Comparaison finale - Maison 5.....	118
Tableau 33	Comparaison économique réelle - Maison 1	120
Tableau 34	Comparaison économique réelle - Maison 2	120
Tableau 35	Comparaison économique réelle - Maison 3	121

Tableau 36	Comparaison économique réelle - Maison 4.....	121
Tableau 37	Comparaison économique réelle - Maison 5	121
Tableau 38	Réductions de GES	122
Tableau 39	Comparaison du coût de l'électricité	125
Tableau 40	Émissions de GES de l'électricité versus celles du mazout.....	127
Tableau 41	Statistiques globales des cendres	134
Tableau 42	Pourcentage d'efficacité	135

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Consommation énergétique mondiale en million de tonnes équivalent.....	6
Figure 2	Scénario de référence pour la demande énergétique mondiale	7
Figure 3	Énergie totale nette consommée au Québec en 2007	8
Figure 4	Dépenses totales en énergie au Québec (1983-2008).....	10
Figure 5	Dépenses des particuliers consacrées à l'énergie	11
Figure 6	Zones ENERGY STAR pour le Canada	13
Figure 7	Zones ENERGY STAR pour le Québec	14
Figure 8	Évolution des prix de l'énergie au Québec (1963-2009).....	16
Figure 9	La consommation de produits pétroliers énergétiques en tonnes équivalent pétrole (Tep)(1983-2008).....	17
Figure 10	Courbes des approvisionnements requis horaires classés après moyens de gestion existants (en MW) Années (2013 et 2017)	21
Figures 11-12	Profil mensuel des approvisionnements requis (en GWh/mois) avant et après déploiement des moyens de gestion	23
Figure 13	Consommation mondiale d'aluminium primaire et PIB réel mondial, (1980-2006).....	31
Figure 14	Consommation mondiale d'aluminium primaire (Mt de métal).....	32

Figure 15	Les exportations nettes d'électricité (2000-2008)	36
Figure 16	Marchés de l'électricité du nord-est du continent	37
Figure 17	Industrie canadienne du granulé de bois.....	55
Figure 18	Demande de granulés en Europe 2008 (en million de tonnes)....	57
Figure 19	Quantité de chaudières résidentielles en Autriche	58
Figure 20	Le granulé de bois en Allemagne.....	59
Figure 21	Nombre de poêles en Italie.....	60
Figure 22	Ventes annuelles de poêles et bouilloires en France	61
Figure 23	Production de granulés de bois en France (en tonnes).....	62
Figure 24	Consommation de granulés de bois par personne pour le chauffage résidentiel (en kg)	63
Figure 25	Pourcentage d'augmentation dans différents marchés entre 2003 et 2008.....	64
Figure 26	Croissance de l'utilisation de granulés (en milliers de tonnes)	65
Figure 27	Production mondiale de granulés de bois 2000-2010	66
Figure 28	Scénarios de production de granulés (en million de tonnes).....	69
Figure 29	Marché mondial du granulé de bois (en milliers de tonnes)	70
Figure 30	Pertes d'énergie suite à la conversion de la biomasse.....	72
Figure 31	Pétrole brut canadien et pétrole importé – Mai 2010.....	76
Figure 32	Provenance des approvisionnements de pétrole brut (1983-2009).....	78
Figure 33	Répartition des approvisionnements de pétrole brut selon les pays (2009)	79

Figure 34	Prix du mazout léger (données mensuelles) Régions de Montréal et de la Capitale-Nationale (1998 à 2011).....	85
-----------	--	----

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Description des participants	137
Annexe 2	Maison 3 – Nombre d’heures sous -15°	140
Annexe 3	Maison 4 – Nombre d’heures quotidien sous -12°	141
Annexe 4 A	Prix du mazout 2008	142
Annexe 4 B	Prix du mazout 2009	143
Annexe 4 C	Prix du mazout 2010	144
Annexe 4 D	Prix du mazout 2011	145
Annexe 5	Comparaison de prix entre quatre formes d’énergie pour le chauffage.....	146
Annexe 6	La consommation finale de produits pétroliers énergétiques (1983-2008)	147
Annexe 7	Textes sur CD-ROM	148
Annexe 8	Intensité des émissions de GES de l’électricité au Québec.....	144

INTRODUCTION

Dans un contexte mondial d'accroissement de la demande énergétique et de l'offre limitée, il importe de réfléchir aux différentes façons de produire et d'utiliser l'énergie. Que ce soit sur les plans de l'agriculture, des transports, de la production industrielle ou de la production de chaleur, cette question cruciale est omniprésente dans nos vies. C'est encore plus vrai dans la mesure où les réserves de pétrole facilement accessibles diminuent¹. D'ailleurs, pour le conseiller scientifique du président Obama, M. Ernest Moniz, rien n'est plus important pour l'avenir de l'humanité que la course pour remplacer le pétrole et le charbon par des énergies propres.²

Ce mémoire porte sur un aspect de la consommation énergétique, soit le chauffage, et plus spécifiquement sur celui des bâtiments résidentiels utilisant le mazout, et ce, en relation avec deux substituts renouvelables, soit l'hydroélectricité et le granulé de bois. Cette réflexion est motivée d'une part par le fait que le

¹ Fatih Birol, chef économiste à l'Agence internationale de l'énergie, *Le Monde* (édition du 5 août 2009)

² Borde, V. (édition du 15 mai 2011). «Plan de bataille mondial», *Revue l'Actualité*.

Québec est un territoire géographiquement des plus affecté par la rigueur de l'hiver et d'autre part, par le fait que lorsqu'on décide de réduire l'utilisation du pétrole, le mazout est le carburant fossile le plus facile à remplacer puisque, contrairement à un véhicule roulant, les systèmes de combustion et d'emmagasinage sont fixes.

Depuis plusieurs années, nous assistons à une augmentation du prix du mazout. Beaucoup de consommateurs résidentiels de cette forme de chauffage se sont par conséquent tournés vers l'hydroélectricité³. Alors que le mazout est un carburant fossile non renouvelable, émetteur de gaz à effet de serre (GES), et que l'hydroélectricité est une énergie renouvelable à très faibles émissions, il serait plausible de penser que c'est une bonne nouvelle pour le Québec. Toutefois, un problème se pose : Hydro-Québec a des surplus d'électricité toute l'année, sauf en hiver⁴. En 2012, le Québec devra soit en acheter à l'extérieur de ses frontières ou en produire avec des centrales au gaz. Selon les prévisions de la société d'État issues du plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec 2011-2020, cette situation devrait encore s'aggraver au cours des prochaines années.

Même si Hydro-Québec pouvait suffire à la demande de chauffage électrique, se pourrait-il qu'il soit tout de même préférable de ne pas se tourner vers cette

³Hydro-Québec (2012).<http://hydrosourcedavenir.com/projets/19/l-hydroelectricite-assise-de-la-securite-energetique-du-quebec>

⁴ Hydro-Québec (2009). *Plan d'approvisionnement 2009-2019*, p. 40-41

forme d'énergie, sous prétexte qu'il est plus profitable de l'utiliser dans d'autres secteurs stratégiques tels la production d'aluminium, l'électrification des transports ou l'exportation vers les États-Unis, pour ne nommer que ceux-ci?

Afin de pousser cette réflexion, la première étape du présent travail consistera à faire une analyse des perspectives de la demande en électricité. Tout d'abord, un portrait sera dressé de cette demande sur les plans mondial, états-unien et québécois. Par la suite, un regard sera porté sur les débouchés potentiels de l'hydroélectricité, notamment les perspectives de demande d'aluminium, les possibilités d'exportation et l'électrification des transports.

Dans ce contexte, la question suivante s'impose : dans la mesure où l'hydroélectricité n'est peut-être pas la meilleure alternative au mazout pour le chauffage, le granulé de bois, compte tenu de sa popularité en Europe⁵, pourrait-il devenir une filière énergétique à privilégier?

Afin de répondre à cette question, la filière du granulé de bois sera évaluée sous différents angles. D'abord, nous analyserons la place qu'occupe cette source d'énergie en Europe puisque c'est le premier continent à avoir véritablement intégré cette source d'énergie et que sa réalité économique est similaire à celle du Québec, en particulier de l'Europe nordique où des conditions hivernales qui

⁵ Voir chapitre 4.3.3

prévalent constituent un lien de comparaison intéressant. Ensuite, nous dresserons un portrait de la production et de la consommation de granulés de bois pour le Québec. En absence de données publiques sur les émissions de GES dans la production de cette forme d'énergie, un travail important consistera à produire un véritable bilan carbone à partir des informations tirées d'une des plus importantes usines de granulés du Québec, Granules LG de Saint-Félicien.

Enfin, pour compléter l'analyse, les résultats d'une recherche terrain qui a été effectuée afin de comparer concrètement l'utilisation du biocombustible en remplacement du carburant fossile seront présentés. Cinq propriétaires de maison ont fait le passage du chauffage au mazout vers le granulé de bois, et ce, simplement en changeant de brûleur de fournaise. Cela permettra de comparer les deux sources d'énergie en matière d'émissions de GES, de coûts et de facilité d'utilisation. Les résultats mèneront à conclure à propos de la pertinence de la pertinence de la filière énergétique granulé de bois au Québec.

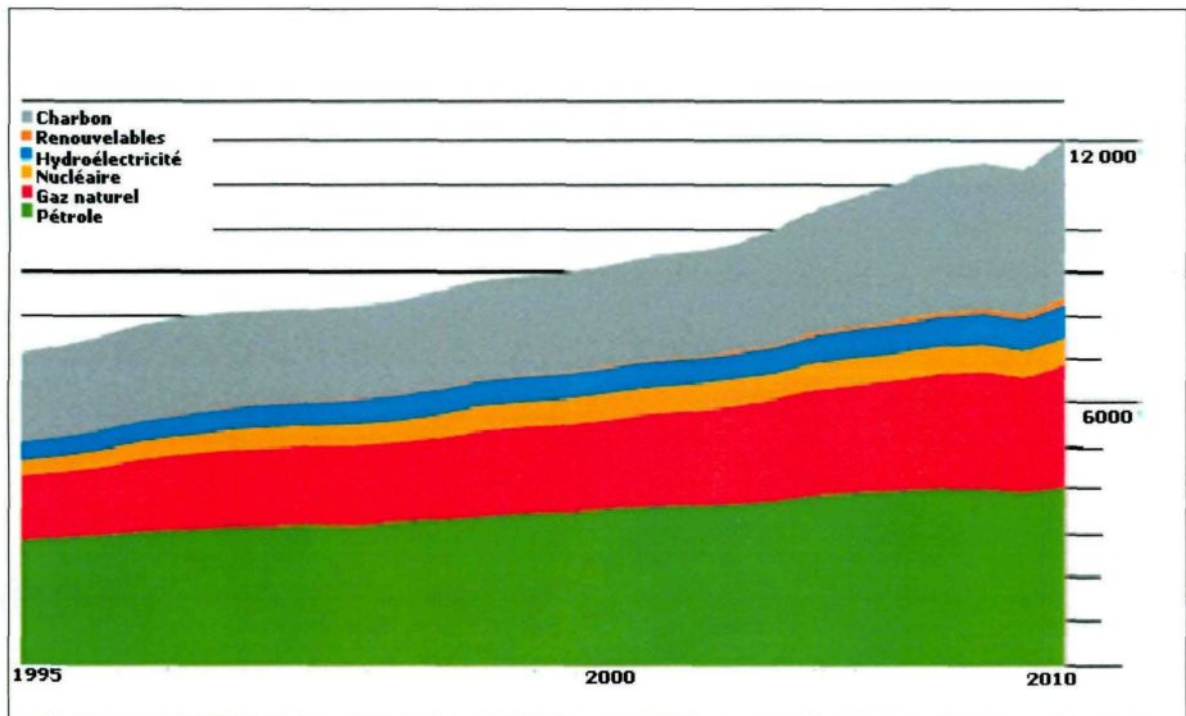
CHAPITRE 1

CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE

1.1 Portrait énergétique international

La compagnie British Petroleum publie depuis 60 ans, un rapport détaillé sur la consommation d'énergie mondiale. Les données de juin 2011 (figure 1) démontrent clairement une augmentation de la demande entre 1985 et 2010, et ce, tant pour le pétrole, le gaz naturel, le charbon, l'énergie nucléaire, l'hydroélectricité que pour les énergies renouvelables. D'ailleurs, pour 2010, la consommation de ces énergies a augmenté de 5,6 %, ce qui constitue la plus forte augmentation depuis 1973. Le pétrole demeure cependant la principale source d'énergie utilisée, avec plus de 33 % du total.

Figure 1 – Consommation énergétique mondiale en million de tonnes équivalent



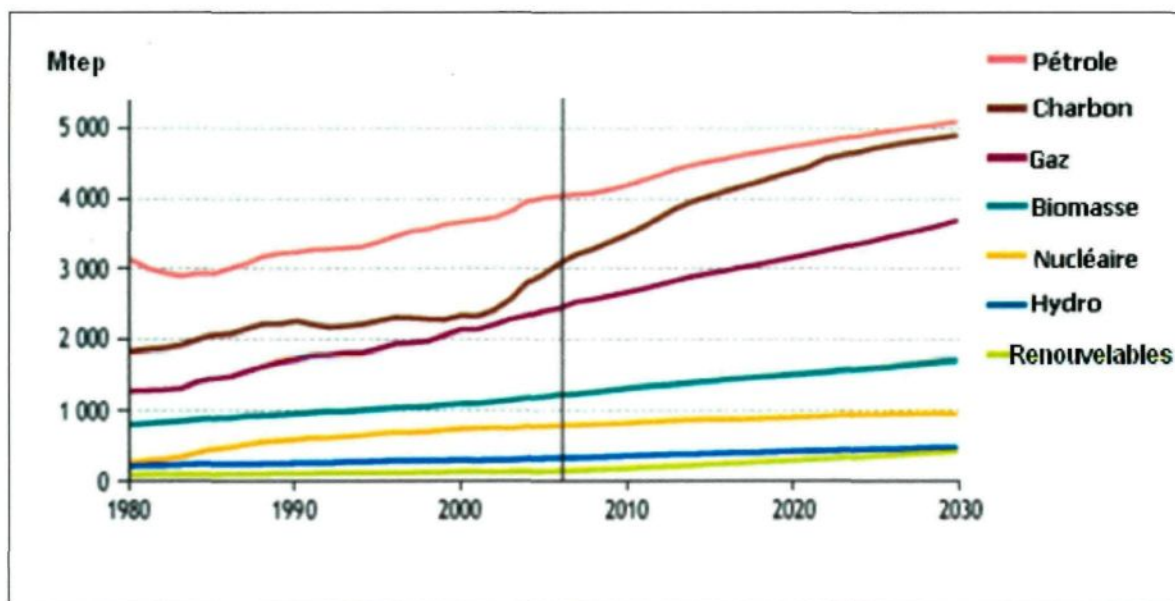
Source: Beyond Petroleum (2011). BP, *Statistical review of world energy-June 2011*, P.4

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) publie annuellement les perspectives de consommation à long terme. Son plus récent rapport intitulé «Key World Energy Statistics 2010», fait état de l'évolution jusqu'en 2030 de la demande d'énergie primaire sous différentes formes dans le monde (figure 2). On y constate que les demandes en pétrole, charbon et gaz continueront de croître le plus et que ces derniers demeureront, et de loin, les sources d'énergie les plus prisées.

Suivant les règles du marché, plus une ressource est en demande, plus son prix augmente. De ce fait, dans la mesure où le Québec ne produit pour le moment

aucun carburant fossile, le poids négatif de ces sources d'énergie risque d'augmenter le déficit dans la balance commerciale québécoise.

Figure 2 – Scénario de référence pour la demande énergétique mondiale en million de tonnes équivalent (Mtep)



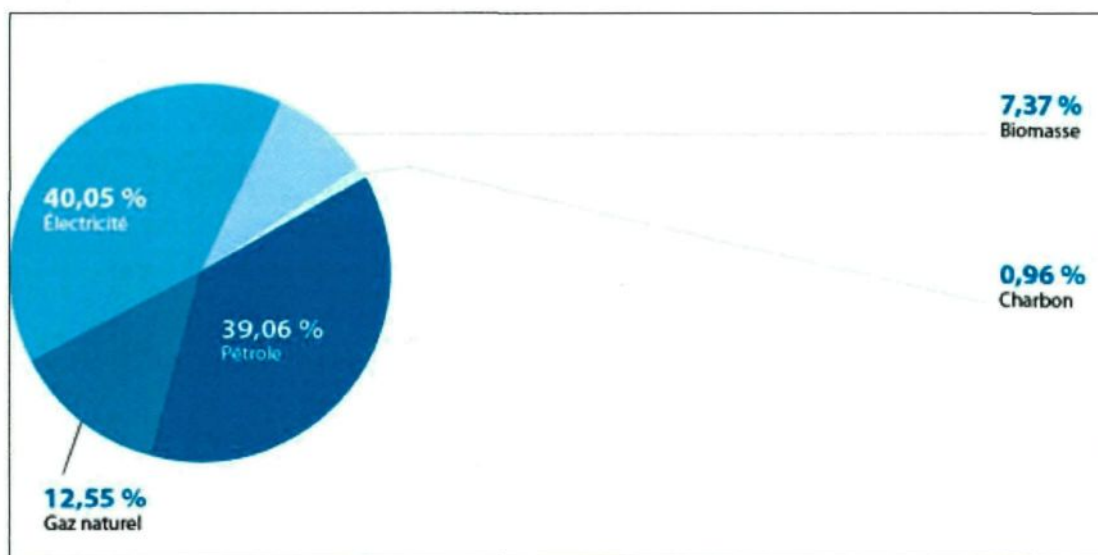
Source: Agence internationale de l'énergie (AIE) (2010). *Key World Energy Statistics*

1.2 Portrait énergétique québécois

Obtenue sur le site Internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF), la figure 3 donne un portrait clair de la consommation énergétique au Québec. Contrairement à l'ensemble de la planète, l'électricité y est la source d'énergie la plus utilisée, atteignant 40 % de la consommation totale du Québec. Cependant, l'addition du pétrole, du gaz naturel et du charbon, montre que l'utilisation de carburant fossile dépasse les 50 %. La biomasse n'occupe

quant à elle que 7,37 % de la consommation énergétique du Québec. Par contre, le type de biomasse dont il est question n'est pas mentionné, donc on ne sait pas s'il s'agit de bûches, d'écorces, de copeaux, de la sciure ou du granulé de bois.

Figure 3 – Énergie totale nette consommée au Québec en 2009



Source : Hydro-Québec (2012)

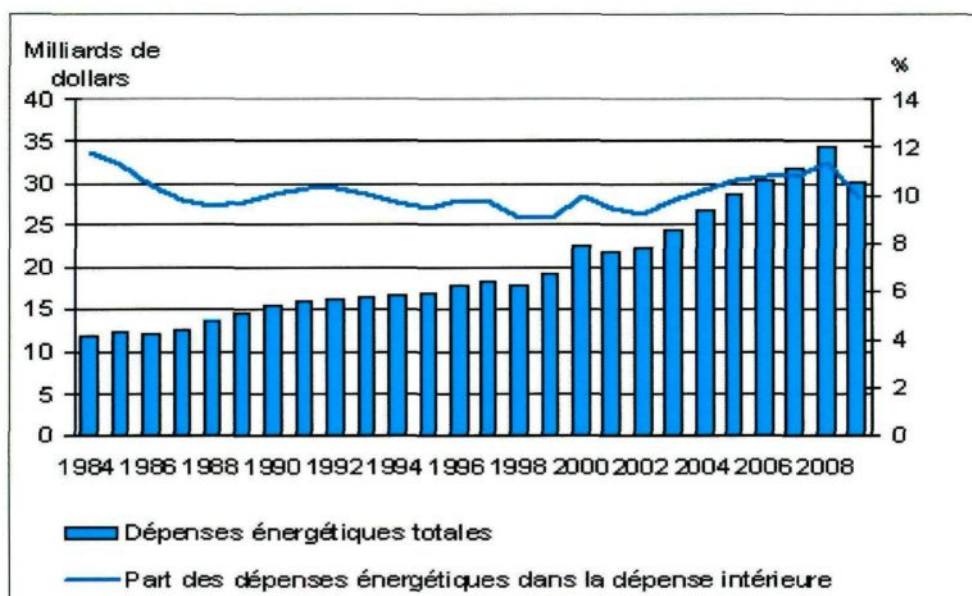
<http://hydrosourcedavenir.com/projets/19/l-hydroelectricite-assise-de-la-securite-energetique-du-quebec>

Toujours selon la même source, 74 % des ménages québécois chauffent leur maison à l'électricité et ce chiffre grimpe à 90 % pour ce qui a trait à la production d'eau chaude. Finalement, 45 % des besoins en électricité lors des périodes de pointe hivernales sont attribuables au chauffage et à la production d'eau chaude, ce qui indique que le Québec dépense beaucoup d'énergie pour lutter contre le froid.

1.2.1 Dépenses totales en énergie au Québec (1984-2009)

À l'aide des données de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ) et de Statistique Canada, le MRNF a établi un graphique qui indique la valeur des dépenses en énergie au Québec (figure 4). En 2008, ces dépenses se sont élevées à plus de 34 milliards \$, soit 11,4 % de la dépense intérieure brute. Depuis 2001, la dépense énergétique connaît une hausse importante de quelque 6,7 % annuellement. Une partie de cet accroissement est probablement attribuable à l'augmentation de la dépense en produits pétroliers et en gaz naturel provoquée par les fortes hausses de prix, notamment en 2008. On note cependant une diminution de 13% en 2009.

Figure 4 – Dépenses totales en énergie au Québec (1984-2009)



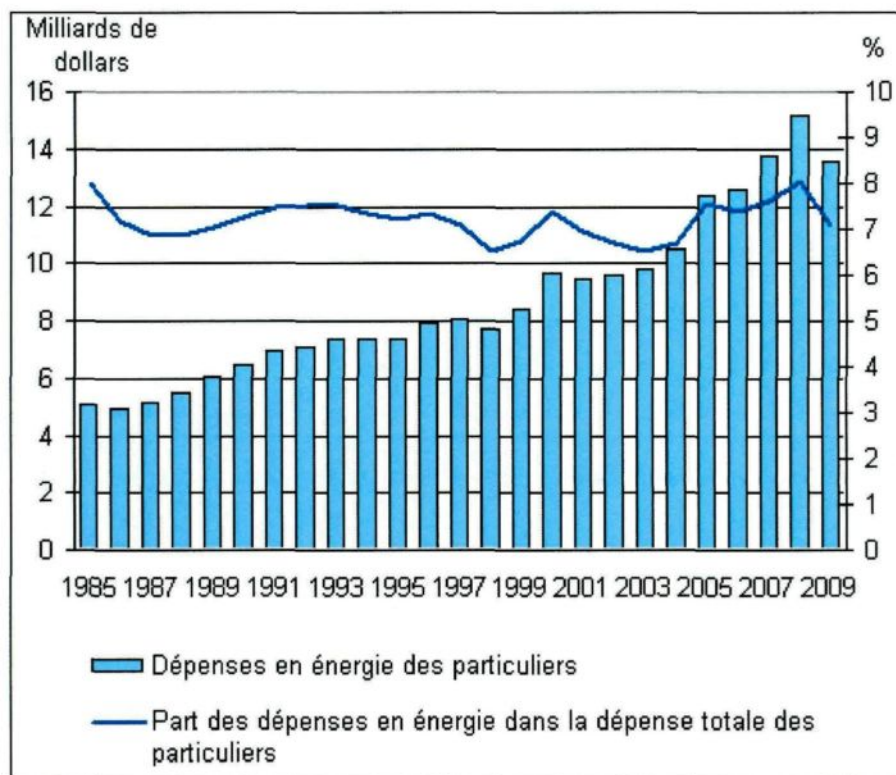
Sources : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Institut de la statistique du Québec et Statistique Canada et <https://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-importance-depense.jsp>

1.2.2 Dépenses des Québécois (particuliers) consacrées à l'énergie

Alors que la figure 4 fait état des dépenses énergétiques pour tous les secteurs au Québec, la figure 5 précise celles des individus. En 2009, ce montant atteint 13,5 milliards \$. Il faut cependant s'attarder à la courbe du graphique puisqu'elle illustre la part des dépenses en énergie dans la dépense totale des particuliers dans le budget des ménages québécois. En 2009, le coût de la facture énergétique atteignait 7,1 % de la part des dépenses des ménages. Ces chiffres incluent également les dépenses en biomasse. Considérant que la population du Québec était de 7 826 891⁶ en 2009, cela correspond à 1 725 \$ par personne.

⁶ http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/struc_poplt/201_2009.htm

Figure 5 – Dépenses des particuliers consacrées à l'énergie (1985-2009)



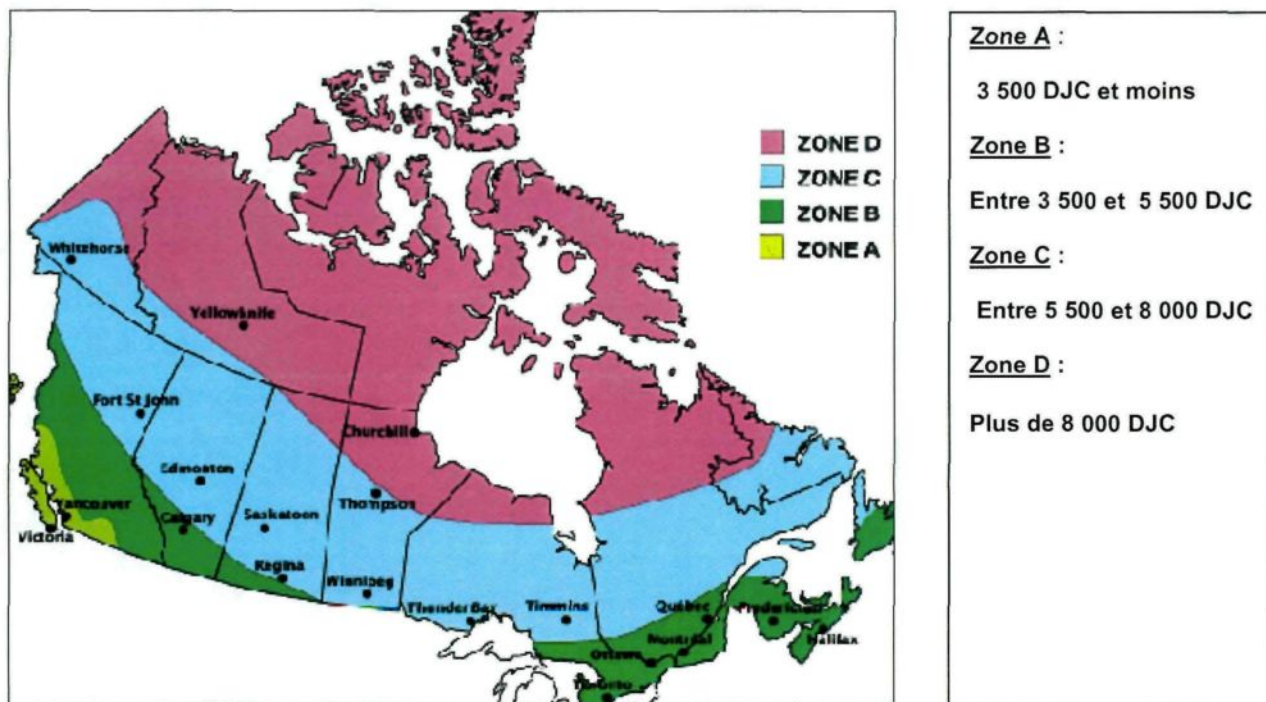
Source : Institut de la statistique du Québec et
<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-importance-depense.jsp>

1.3 Un pays d'hiver

Dans un mémoire traitant d'énergie et de chauffage, il est difficile de ne pas aborder l'une des spécificités du territoire québécois, soit celui de son climat. Les cartes des figures 6 et 7 permettent d'en dresser un portrait. Par le biais de l'Office national de l'énergie, Ressources naturelles Canada travaille à la promotion de nombreux programmes en efficacité énergétique. Pour le secteur résidentiel, les interventions du programme ENERGY STAR sont modulées en fonction du climat

dans tout le pays. Des zones climatiques ont été établies en fonction des températures observées sur une période de 30 ans. Les données sont calculées en degré-jour de chauffage (DJC) sur toute une année. Un DJC représente la somme des degrés où la température est inférieure à 18°C. Les figures 6 et 7 représentent en couleur ces zones avec le nombre de DJC par année pour le Canada et le Québec. Plus le chiffre est élevé, plus la région est froide. La zone A (seulement en Colombie-Britannique) a des besoins minimes en chauffage avec moins de 3 500 DJC par année. La zone B, qui couvre les régions les plus peuplées, cumule entre 3 500 et 5 500 DJC par année.

Figure 6 - Zones ENERGY STAR pour le Canada

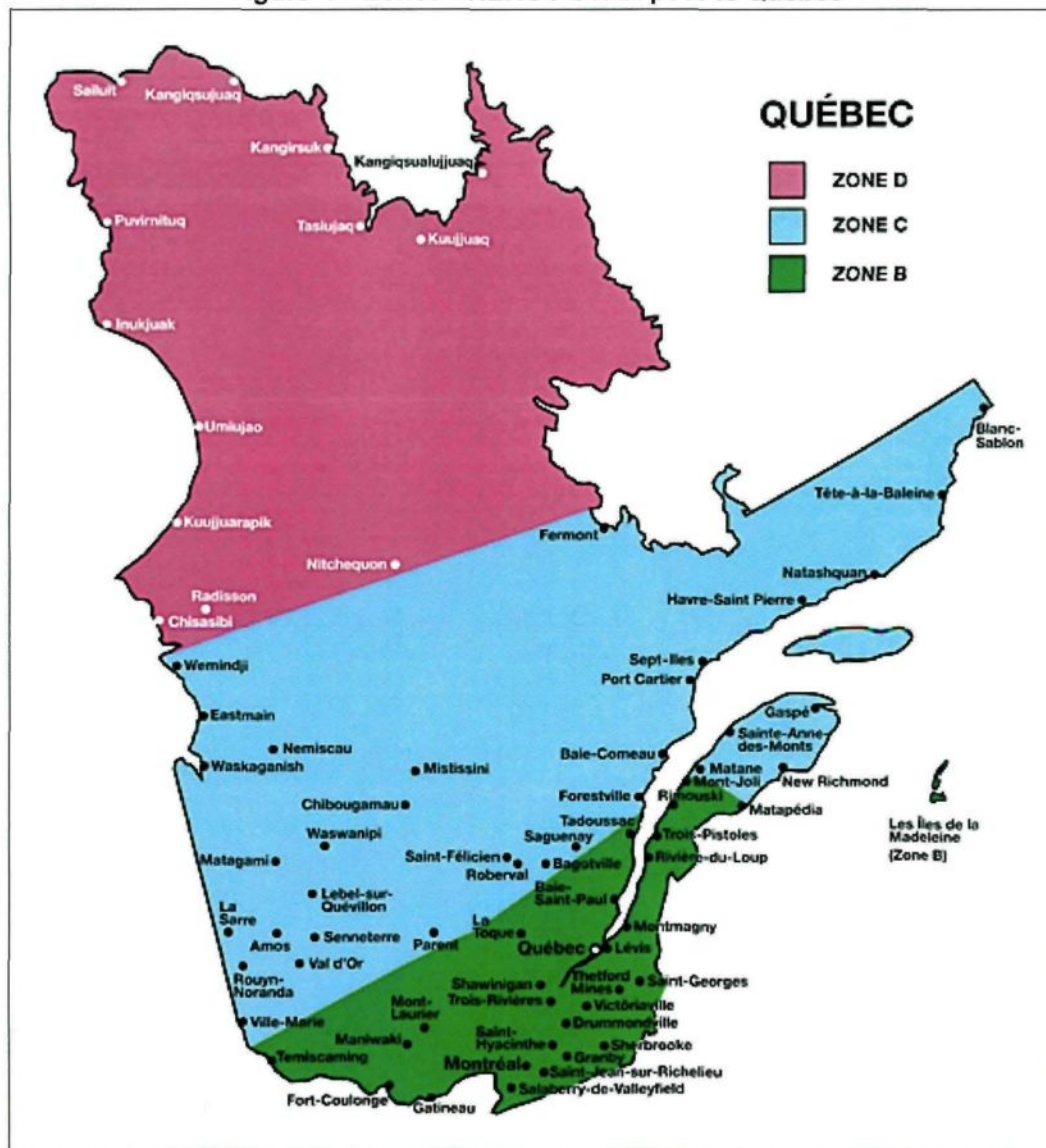


Source : Office national de l'énergie (2012), Programme ENERGY STAR
<http://oee.nrcan.gc.ca/node/9997>

La majorité de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean fait partie de la zone C, c'est-à-dire entre 5 500 DJC et 8 000 DJC par année. Cela indique qu'il faut y chauffer les bâtiments de façon importante. C'est encore plus vrai pour le Grand Nord, avec plus de 8 000 DJC par année.

Dans de pareilles conditions climatiques, la source d'énergie utilisée pour le chauffage est importante. C'est encore plus vrai au moment où, tel que vu précédemment, les prix des carburants fossiles fluctuent principalement à la hausse.

Figure 7 - Zones ENERGY STAR pour le Québec



Source : Office national de l'énergie (2012), Programme ENERGY STAR
<http://oee.nrcan.gc.ca/node/9997>;

CHAPITRE 2

PROBLÉMATIQUE

Depuis plusieurs années, le prix du mazout est en augmentation. Cela a incité les consommateurs résidentiels de cette forme de chauffage à se tourner vers l'hydroélectricité⁷. De prime abord, on peut penser que c'est une bonne chose, car le mazout est un carburant fossile non renouvelable, émetteur de GES et que l'hydroélectricité est une énergie renouvelable à très faibles émissions⁸.

Cependant, tel que présenté dans ce chapitre, Hydro-Québec a des surplus d'électricité toute l'année, sauf en hiver. En 2012, Hydro-Québec devra soit en acheter à l'extérieur du Québec ou en produire avec des centrales au gaz. Selon les prévisions de la issues du plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec 2011-2020, cette situation devrait s'aggraver au cours des prochaines années, d'où la pertinence de considérer d'autres sources d'énergie dans le chauffage des bâtiments, afin de réduire les besoins de pointe en hiver.

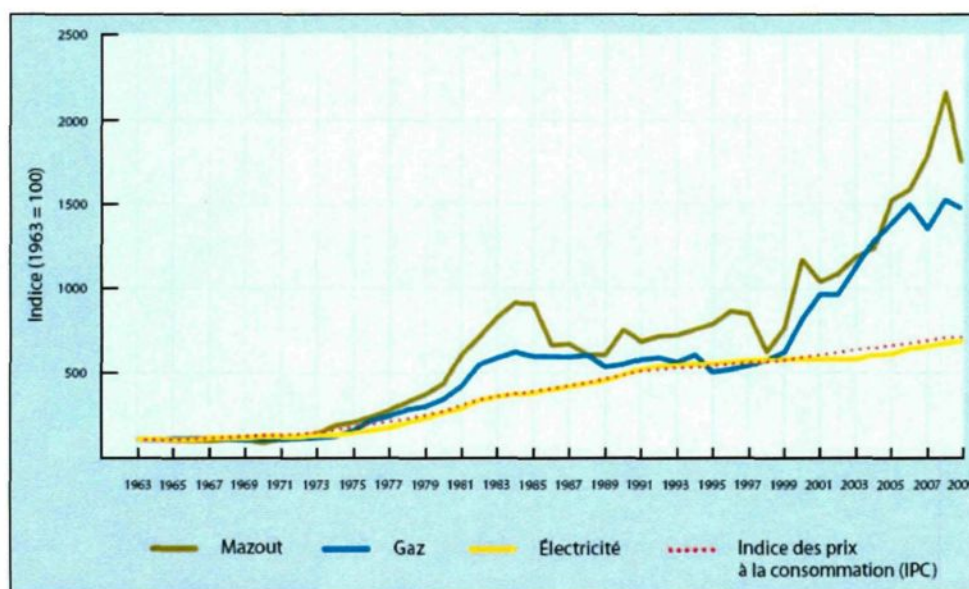
⁷ Voir la fin du chapitre 2.3

⁸ Voir tableau 10

2.1 Évolution des prix de l'énergie au Québec

La figure 8 montre l'augmentation importante du prix du mazout par rapport à celle relativement faible du coût de l'électricité. D'ailleurs, le prix de cette dernière forme d'énergie suit pratiquement la même tendance que la courbe d'indice des prix à la consommation. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le prix de l'électricité est décidé davantage par le gouvernement que par la loi de l'offre et de la demande. Cet écart de prix a engendré un transfert des utilisateurs de mazout vers l'électricité. Dans le plan stratégique d'Hydro-Québec 2009-2013, on estime que plus d'une dizaine de milliers de ménages par année en moyenne font ce transfert⁹.

Figure 8 – Évolution des prix de l'énergie au Québec (1963-2009)



Sources : Hydro-Québec, le ministère des Ressources naturelles du Québec et Statistique Canada
<http://www.hydroquebec.com/affaires/moyen/comparaison.html>

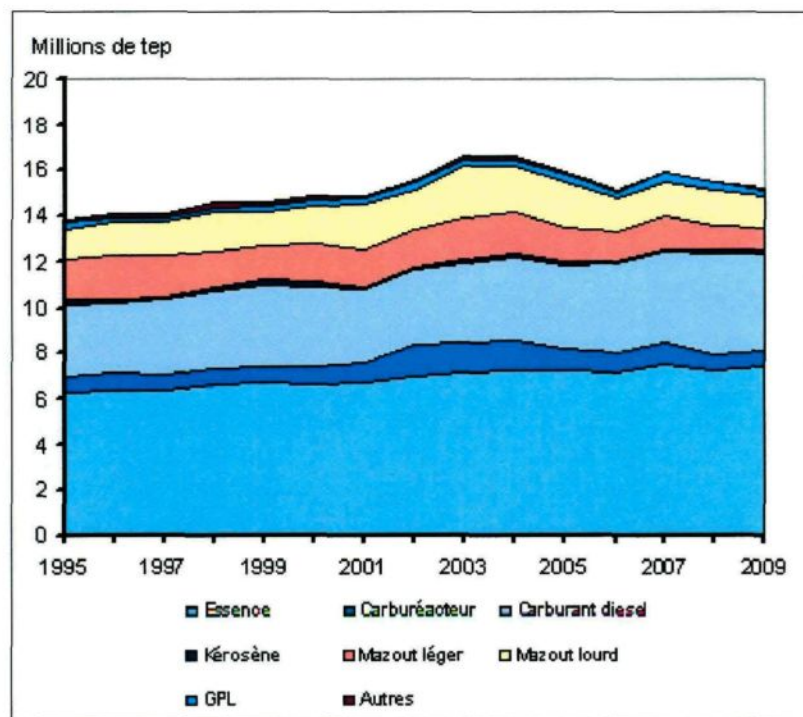
⁹ Plan stratégique d'Hydro-Québec 2009-2013, page 24

2.2 Consommation de produits pétroliers au Québec

La figure 9 illustre la consommation des produits pétroliers au Québec entre 1995 et 2009. Alors que l'augmentation des prix des carburants fossiles ne semble pas avoir engendré de réduction de la consommation d'essence, la consommation de mazout léger a par contre subi une diminution graduelle, passant de plus de 20 % à moins de 10 % de la consommation totale de produits pétroliers énergétiques (voir annexe 4 pour le détail des prix).

Figure 9 – La consommation de produits pétroliers énergétiques en tonne équivalent pétrole (tep) (1995-2009)

Source : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et Statistique Canada.



<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-consommation-petroliers.jsp>

2.3 Prévisions des ventes d'électricité

Le tableau 1 fait état des prévisions de vente d'hydroélectricité entre 2010 et 2020 pour les secteurs résidentiel, agricole, commercial, institutionnel, PME et grandes entreprises. Malheureusement, les données du secteur résidentiel sont fusionnées avec celles du secteur agricole.

Les prévisions de croissance pour le secteur industriel (4,8 TWh) indiquent que les besoins devraient être inférieurs de 2,1 TWh par rapport aux secteurs résidentiel et agricole (6,9TWh). Pour tout le Québec, près de 12,9 TWh de plus seront nécessaires pour fournir la demande en 2020 qui atteindra 183,5 TWh.

Tableau 1 – Prévision des ventes régulières au Québec par secteur de consommation

	2010 ¹	2011 ²	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Croissance 2010-2020 TWh	tx annuel moyen
Résidentiel et agricole	62,2	64,2	64,6	64,8	65,1	65,8	66,7	67,0	67,7	68,3	69,0	6,9	1,1%
Commercial et institutionnel	34,7	33,8	34,7	35,1	34,9	34,7	34,9	34,8	34,7	34,7	34,8	0,1	0,0%
Industriel PME	8,7	9,5	9,5	9,7	9,7	9,6	9,6	9,5	9,5	9,5	9,5	0,7	0,8%
Industriel Grandes entreprises	59,8	57,8	57,1	57,6	58,3	60,0	63,1	63,7	64,3	64,3	64,6	4,8	0,8%
Alumineries	25,1	23,8	23,2	23,7	24,1	25,1	28,2	28,6	28,8	29,1	29,6	4,5	1,7%
Pâtes et papiers	15,2	13,8	13,1	12,5	12,1	11,9	11,1	10,7	10,6	10,4	10,0	-5,2	-4,1%
Pétrole et chimie	6,0	5,8	5,5	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,0	-1,0	-1,9%
Mines	2,7	3,4	3,8	4,5	5,1	5,9	6,6	7,4	8,0	8,2	8,3	5,6	12,0%
Sidérurgie, fonte et affinage	7,7	7,7	8,5	8,5	8,6	8,7	8,7	8,6	8,6	8,6	8,7	1,0	1,2%
Autres	3,2	3,2	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	-0,2	-0,5%
Autres	5,2	5,3	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6	0,3	0,6%
VENTES RÉGULIÈRES AU QUÉBEC	170,6	170,6	171,4	172,5	173,5	175,6	179,8	180,6	181,7	182,3	183,5	12,9	0,7%

¹ Ventes publiées, normalisées pour les conditions climatiques.
² Incluant les ventes publiées de janvier à juillet 2011, normalisées pour les conditions climatiques.

Source : État d'avancement 2011 du plan d'approvisionnement 2011-2020 d'Hydro-Québec p-10

Il est intéressant d'analyser la demande des mêmes secteurs, mais cette fois, en fonction de la pointe d'hiver, c'est-à-dire au moment où la puissance demandée est à son maximum. Il est prévu que le secteur chauffage résidentiel et agricole, qui occupe déjà 30 % des besoins à l'hiver 2009-2010, augmentera annuellement de 1.3 % pour atteindre 35 % des parts de la croissance globale en 2020.

**Tableau 2 - Prévion des besoins en puissance à la pointe d'hiver par usages
Scénario moyen (en MW)**


	Part à l'hiver 2009-2010	Part à l'hiver										Croissance 2009-2019			
		2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	Taux annuel moyen	Part dans la croiss.	
Valeurs normalisées pour les conditions climatiques¹															
Chauffage résidentiel et agricole	30%	10 990	11 189	11 399	11 550	11 685	11 814	11 943	12 118	12 268	12 395	12 486	1 496	1,3%	35%
Chauffage commercial et institutionnel	9%	3 394	3 466	3 544	3 629	3 685	3 742	3 748	3 748	3 743	3 739	3 739	345	1,0%	8%
Eau chaude résidentiel et agricole	5%	1 743	1 768	1 791	1 812	1 828	1 841	1 854	1 872	1 889	1 906	1 922	179	1,0%	4%
Industriel PME	5%	1 740	1 696	1 676	1 703	1 696	1 684	1 671	1 655	1 639	1 624	1 612	-128	-0,8%	-3%
Industriel Grandes entreprises	19%	6 970	7 269	6 787	7 181	7 248	7 444	7 620	7 936	8 005	8 004	8 019	1 049	1,4%	24%
Autres usages	31%	11 213	11 442	11 637	11 797	11 942	12 048	12 136	12 223	12 321	12 442	12 567	1 354	1,1%	32%
Besoins réguliers du Distributeur (Besoins visés par le Plan)		36 050	36 830	36 835	37 673	38 084	38 573	38 972	39 552	39 865	40 110	40 344	4 294	1,1%	
Impacts des conditions climatiques¹		-1 709	674												
Valeurs réelles															
Besoins réguliers du Distributeur		34 341	37 504												
¹ Et autres conditions d'occurrence de la pointe que sont la date, le jour de la semaine et l'heure.															

Source : État d'avancement 2011 du plan d'approvisionnement 2011-2020 d'Hydro-Québec p-11

On peut aussi analyser les besoins en établissant la demande par rapport aux changements de température liés aux saisons, tel que le permet le tableau 3. Ainsi, d'avril à octobre 2012, on prévoit que le Québec consommera entre 12 000 et 15 000 GWh par mois. Pour les mois d'hiver, la demande augmenterait jusqu'à 16 119 GWh en novembre, 19 738 GWh en décembre, 21 102 GWh en janvier,

19 126 GWh en février et 18 166 GWh en mars. Les chiffres suivent les courbes de température hivernale. Le tableau fournit aussi les prévisions en besoins énergétiques pour les années à venir, ainsi que les besoins de pointe.

Tableau 3 – Prévision des besoins en énergie (besoins mensuels de 2012 à 2020)

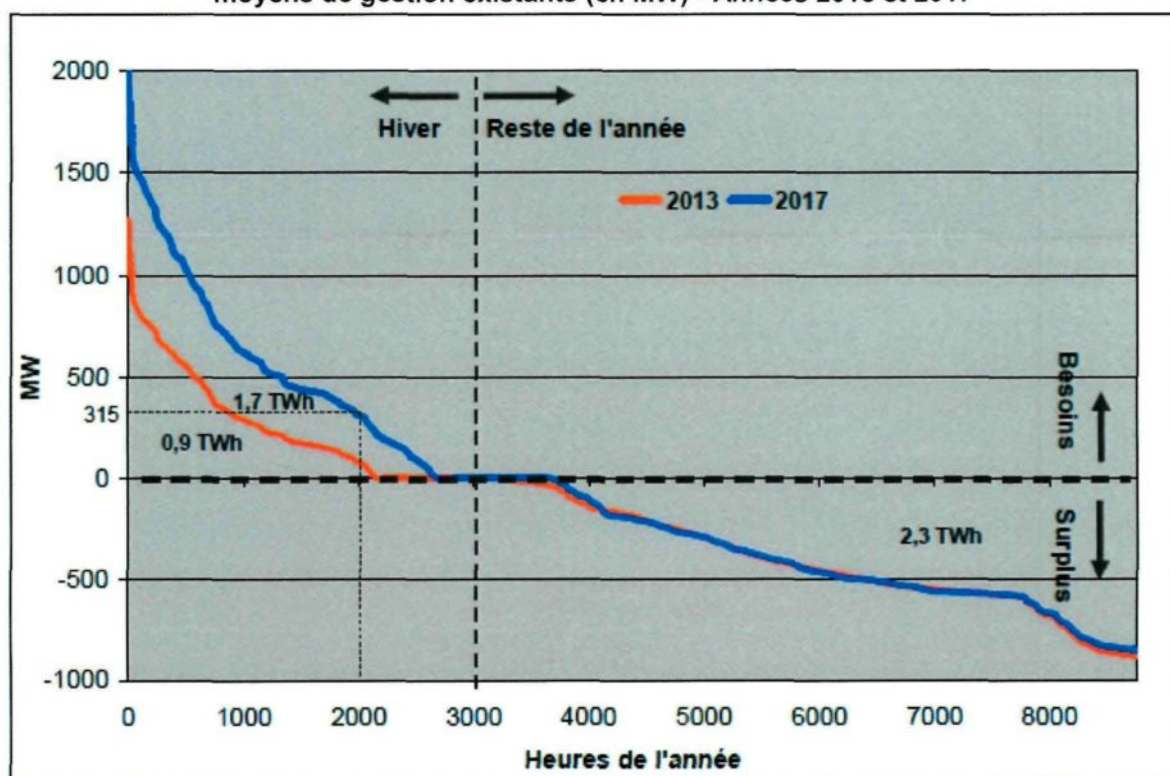
	
PRÉVISION DES BESOINS EN ÉNERGIE VISÉS PAR LE PLAN⁽¹⁾	
Scénario moyen (GWh)	
	2010⁽²⁾ 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020
Besoins annuels	180 900 184 809 185 623 186 566 188 119 193 037 196 592 197 089 197 599 197 936 198 332
	Janvier Février Mars Avril Mai Juin Juillet Août Septembre Octobre Novembre Décembre
Besoins mensuels	
2010	- - - - - - - 13 170 12 062 14 119 16 288 19 530
2011	20 785 18 258 18 097 14 854 13 271 12 536 12 810 12 705 12 041 13 761 16 050 19 560
2012	21 102 19 126 18 166 14 895 13 051 12 106 12 561 12 729 12 111 13 917 16 119 19 738
PRÉVISION DES BESOINS RÉGULIERS DU DISTRIBUTEUR EN PUISSANCE⁽¹⁾	
Scénario moyen (MW)	
	2009-10⁽³⁾ 2010-11 2011-12 2012-13 2013-14 2014-15 2015-16 2016-17 2017-18 2018-19 2019-20
Pointes d'hiver	34 341 36 625 37 232 37 613 37 976 38 566 39 298 39 565 39 740 39 880 39 949
	Janvier Février Mars Avril Mai Juin Juillet Août Septembre Octobre Novembre Décembre
Pointes mensuelles	
2010	- - - - - - - 21 231 20 368 24 502 29 437 34 141
2011	36 625 35 071 32 421 26 697 22 251 20 633 20 623 20 615 20 372 24 112 29 277 34 316
2012	37 232 35 563 32 701 26 800 21 983 20 094 20 272 20 709 20 520 24 335 29 435 34 686
Notes : (1) Après effacement de la t-énergie résidentielle (tarif DT) et avant interruptions chez les clients de la Grande entreprise. (2) Incluant les ventes publiées de janvier à juillet. (3) Pointe réelle du 29 janvier à 18h.	
En date du 16 novembre 2010 Direction Approvisionnement en électricité	

Source : Plan stratégique d'Hydro-Québec, 2009-2013

Les besoins de pointe mensuels indiquent la même tendance. Il s'agit du besoin en puissance maximale que le réseau d'Hydro-Québec doit fournir. Toute la puissance du réseau doit minimalement fournir cette demande maximale. Or,

comme le démontre la figure 10, à l'hiver 2017, durant plus de 2 000 heures (2 mois et 23 jours), le Québec devra acheter plus de 315 MW, ce qui représente 1,7 TWh, alors que pendant plus de 6 000 heures, les surplus dépasseront 500 MW.

Figure 10 - Courbes des approvisionnements requis horaires classés après moyens de gestion existants (en MW) - Années 2013 et 2017

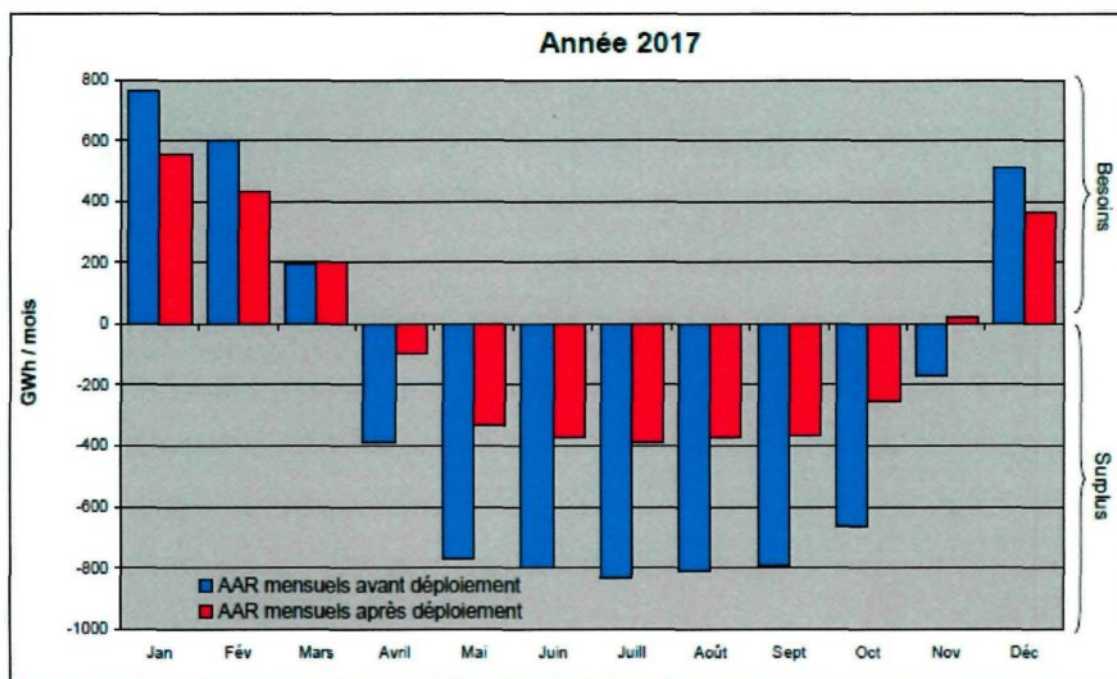
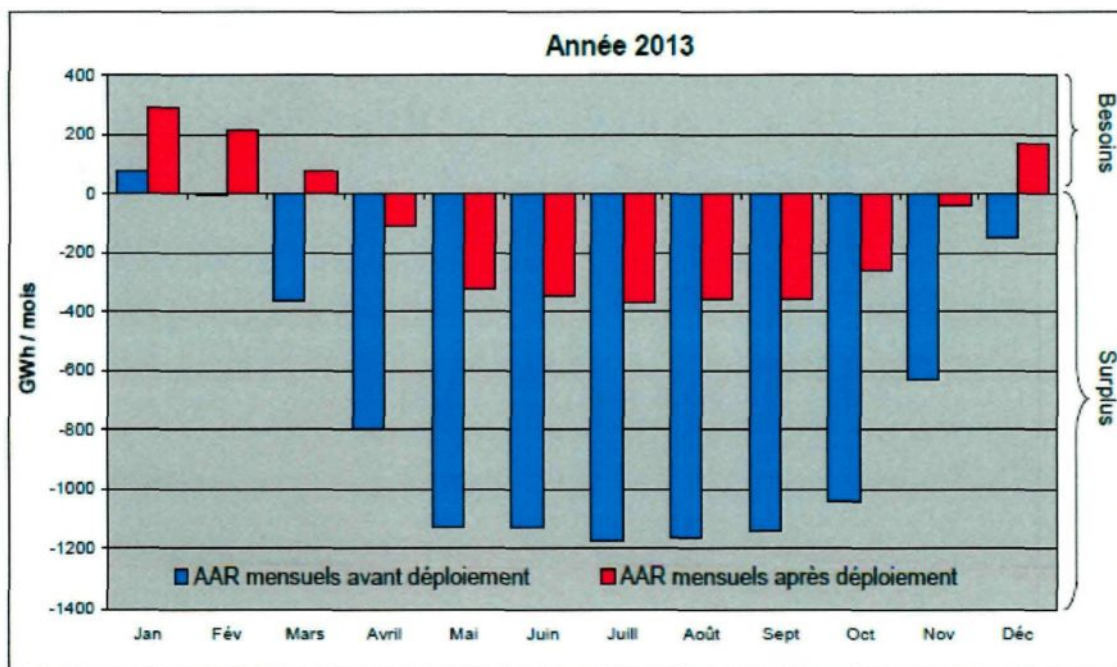


Source : Plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec 2009-2019 p-39

Les figures 11 et 12 font part des prévisions mensuelles des approvisionnements requis (AAE) en GWh, et ce, pour les années 2013 et 2017. Les barres bleues indiquent les approvisionnements requis sans le déploiement des mesures d'Hydro-Québec¹⁰, alors que les barres rouges indiquent les approvisionnements requis dans la mesure où le plan sera mis en œuvre. Les graphiques démontrent la différence entre la consommation lors de la saison froide et le reste de l'année. En effet, de décembre à mars, la société d'État est en situation de besoins, alors que d'avril à novembre, elle a des surplus énergétiques. De plus, en comparant les deux figures on constate que cette situation s'amplifiera avec les années.

¹⁰ Mesures d'efficacité énergétique

Figures 11 et 12 – Profil mensuel des approvisionnements requis (en GWh/mois) avant et après déploiement des moyens de gestion



Source : Plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec 2009-2019 p-40-41

En ce qui a trait à l'augmentation de la demande en énergie, on peut lire sur la page du site Internet d'Hydro-Québec¹¹:

D'une part, la croissance démographique devrait se traduire par 37 000 nouveaux abonnements par année en moyenne. D'autre part, chaque année, plusieurs milliers de ménages abandonnent leur système de chauffage au mazout au profit du chauffage électrique.

2.4 Stratégie envisagée par le plan d'approvisionnement 2011-2020 d'Hydro-Québec

Les données précédentes indiquent qu'Hydro-Québec fait face à deux défis différents, l'un en hiver et l'autre, le reste de l'année. C'est d'ailleurs ce qui est mentionné à la page 41 du plan d'approvisionnement 2011-2020 qui fait état du défi d'Hydro-Québec distribution de « gérer les surplus d'énergie générés pour la plupart en été et les besoins en puissance assortis d'une contribution requise variable en énergie en période d'hiver »¹².

On peut aussi lire à la page 42 du document que parmi les stratégies envisagées par la société d'État, il y a notamment celle de recourir à la centrale thermique de TransCanada Energy (TCE) à Bécancour à partir de 2015. Le tableau 4 indique d'ailleurs à la première ligne de la section des approvisionnements non patrimoniaux qu'à l'hiver 2014-2015, la TCE contribuera pour 547 MW.

¹¹ <http://hydrosourcedavenir.com/projets/19/l-hydroelectricite-assise-de-la-securite-energetique-du-quebec>

¹² *Plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec 2009-2019 p-41*

Tableau 4 – Bilan en puissance après déploiement des nouveaux moyens de gestion de 2010 à 2020

	2010 - 2011	2011 - 2012	2012 - 2013	2013 - 2014	2014 - 2015	2015 - 2016	2016 - 2017	2017 - 2018	2018 - 2019	2019 - 2020
Besoins à la pointe visés par le Plan	36 625	37 232	37 613	37 976	38 566	39 298	39 565	39 740	39 880	39 949
+ Réserve requise pour respecter le critère de fiabilité	3 456	3 672	3 920	4 154	4 273	4 353	4 362	4 401	4 417	4 424
- Électricité patrimoniale (incluant réserve)	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442
= Puissance requise au-delà de l'électricité patrimoniale	2 649	3 462	4 091	4 688	5 397	6 205	6 505	6 699	6 855	6 931
- Approvisionnements non patrimoniaux	2 431	2 953	3 226	3 574	4 364	4 778	4 778	4 778	4 778	4 778
• TCE	-	-	-	-	547	547	547	547	547	547
• HQP - Base et cyclable Dont : Puissance rattrapée	1 150 550	1 330 700	1 200 600	1 200 600	1 200 600	1 400 800	1 400 800	1 400 800	1 400 800	1 400 800
• Contrats de biomasse (incluant Tembec)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
• Éolien (3 344 MW) ⁽¹⁾	156	337	549	726	861	1 003	1 003	1 003	1 003	1 003
• Biomasse II (125 MW)	-	-	51	52	52	52	52	52	52	52
• Petite hydraulique (150 MW)	-	23	27	109	150	150	150	150	150	150
• Entente globale de modulation	-	169	275	353	431	502	502	502	502	502
• Électricité interruptible	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
• Abaissement de tension	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
= Puissance additionnelle requise	220	510	870	1 110	1 030	1 430	1 730	1 920	2 080	2 150
- Contribution des marchés de court terme	220	510	870	1 100	1 030	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
= Puissance additionnelle requise (besoins arrondis)	-	-	-	-	-	330	630	820	980	1 050

Source : Plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec 2009-2019 p-53

Or, les données statistiques d'Hydro-Québec démontrent (tableau 5) que la puissance de Bécancour est de 381 MW, ce qui sera insuffisant. Pour atteindre le 547 MW prévu dans le plan d'approvisionnement, l'intervention d'une autre centrale sera nécessaire. L'information n'est pas indiquée, mais en prenant connaissance de la capacité des autres centrales disponibles au Québec, on peut émettre l'hypothèse que c'est la centrale thermique au gaz Cadillac de 162 MW qui sera sollicitée car en additionnant les 381 MW de Bécancour et les 162 MW de Cadillac, on arrive au chiffre précis indiqué dans le plan, soit 547 MW. Ainsi, pour pallier à la croissance de la demande de chauffage de 74 % des foyers au Québec¹³, à partir

¹³ <http://www.hydro-sourcedavenir.com/pages/faq>

de 2014 il faudra donc brûler du gaz pour produire de l'électricité qui servira par la suite à produire du chauffage.

Tableau 5 – Caractéristiques des centrales thermiques d'Hydro-Québec

Nom	Type	Puissance (MW)	Nombre de groupes	Mise en service
Tracy	À vapeur	660	4	1964-1968
Bécancour	À turbines à gaz	381	4	1992-1993
La Citière	À turbines à gaz	309	4	1979-1980
Cadillac	À turbines à gaz	162	3	1976-1977
23 centrales	Au diesel	122	n/a	n/a

Source : <http://www.hydroquebec.com/production/centrale-thermique.html>

Sur le plan des émissions des GES, on peut lire dans le Rapport d'évaluation environnementale du ministère de l'Environnement du Québec (MENV), Direction des évaluations environnementales, dossier 3211-12-75 de juin 2004, que la contribution de la centrale de Bécancour en matière de GES pourrait occasionner un impact important sur le bilan des GES du Québec dont l'intensité est qualifiée de « très forte » par le Bureau des changements climatiques du MENV.

La centrale consommerait 920 millions de mètres cubes de gaz naturel par année. Les émissions de GES qui en résulteraient sont estimées à environ 1,74 million de tonnes d'équivalents CO₂ (teCO₂).

Ainsi, Hydro-Québec est placée devant le défi de devoir fournir la demande de pointe hivernale entre décembre et mars et de gérer des surplus durant le reste de l'année. On dit parfois qu'il importe de «mettre la bonne énergie à la bonne place». Or, la situation de gestion énergétique mise en lumière amène à ajouter ceci : «et au bon moment». En effet, même si l'hydroélectricité est une énergie à faible émission de GES, la conséquence de son utilisation hivernale amènera le Québec à augmenter ses émissions, d'où l'ajout au dicton. Cependant, pour le chauffage des bâtiments, est-ce que l'hydroélectricité est vraiment la bonne énergie à utiliser? C'est ce qui sera analysé dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 3

QUESTION DE RECHERCHE

Malgré le fait que l'hydroélectricité soit une énergie renouvelable et coûte moins cher que le mazout, se pourrait-il qu'il soit néanmoins préférable de ne pas se tourner vers cette forme d'énergie pour le chauffage? En effet, il se pourrait qu'il s'avère plus profitable de consacrer l'hydroélectricité à d'autres secteurs d'activités, soit parce qu'ils sont plus énergivores, telle la production d'aluminium, soit parce qu'ils pourraient s'avérer plus rentables, comme l'exportation d'hydroélectricité, ou soit parce qu'ils permettent de réduire les GES et les achats de produits pétroliers du Québec, telle dans l'électrification des transports. Les deux volets de cette question seront abordés, soit l'aspect de l'efficacité de l'hydroélectricité et l'aspect économique.

Tout d'abord, il semble que l'idée de produire de la chaleur avec de l'électricité soit un concept très peu répandu dans le monde, sauf au Québec¹⁴. En effet, l'électricité est souvent qualifiée par les Européens d'énergie « noble », capable de

¹⁴Cet aspect m'a été souligné par le Pr. Laszlo Kiss (UQAC), Ph.D. en énergétique.

rendre des services spécialisés et souvent à haute valeur ajoutée, alors que la production de chaleur est considérée comme une activité plutôt simple¹⁵

Cette opinion est aussi partagée par madame Rita Dionne-Marsolais, ex-ministre déléguée à l'Énergie ayant aussi œuvré au sein d'Hydro-Québec pendant de nombreuses années¹⁶. Selon elle, le fait que le Québec chauffe abondamment des bâtiments avec l'hydroélectricité est en bonne partie le fait d'une conjoncture historique d'abondance énergétique durant les années 60. Cette vision de l'utilisation de l'électricité mériterait qu'on s'y attarde davantage.

L'autre élément d'analyse est celui de la rentabilité pour le Québec de créer de l'activité économique avec l'hydroélectricité plutôt que de s'en servir pour créer de la chaleur. C'est le cas lorsqu'on attire des investissements de production d'aluminium très énergivore, mais créatrice d'emplois. Aussi, l'exportation de l'énergie du Québec est une activité pesant positivement sur la balance commerciale. Finalement, un autre aspect prometteur pour l'avenir est l'électrification des transports, puisque chaque litre de pétrole substitué par une énergie produite au Québec est aussi une source d'enrichissement pour celui-ci, en plus de générer des aspects positifs pour l'environnement.

¹⁵ Entrevue avec le Pr. Kiss (2010)

¹⁶ Opinion émise lors de discussions avec elle.

Sans répondre directement à ces questions, le prochain chapitre posera un regard sur ces trois perspectives. Il faut aussi souligner que la demande mondiale d'électricité devrait continuer de croître plus vigoureusement que toute autre forme d'énergie finale. Il est prévu qu'elle augmente de 2,2 % par an entre 2008 et 2035¹⁷.

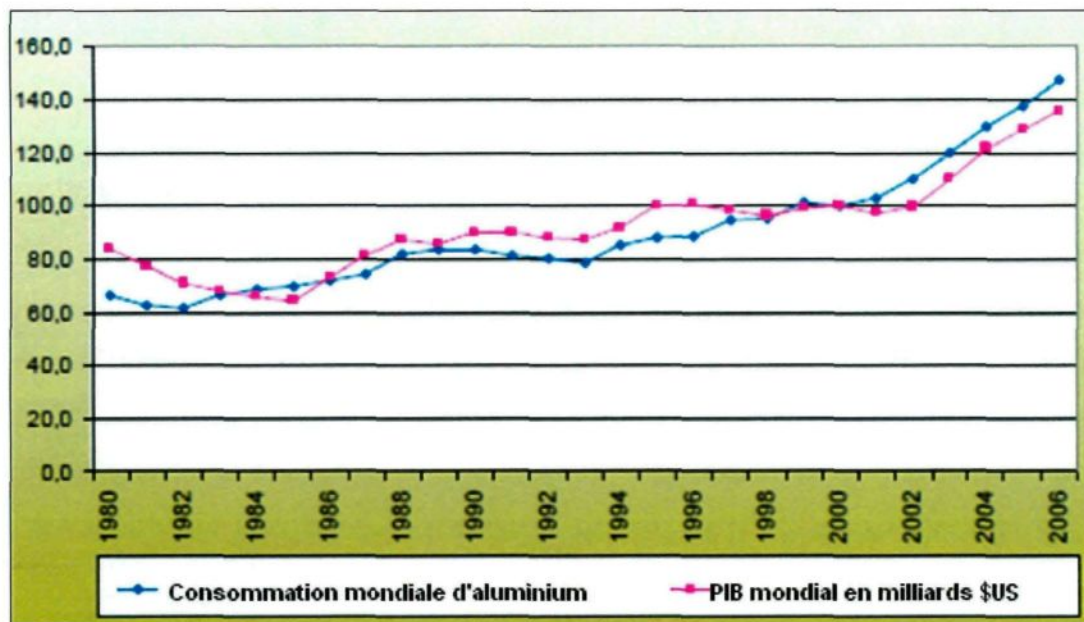
3.1 Hydroélectricité et production d'aluminium

La production d'aluminium au Québec s'explique en grande partie par son potentiel hydroélectrique. Dans la mesure où la production de ce métal nécessite beaucoup d'électricité, une croissance de la demande mondiale de ce métal offre des opportunités pour le Québec, à condition d'être en mesure d'y répondre. Tentons de dégager des perspectives d'avenir pour l'aluminium.

La figure 13 dresse un portrait de la croissance de l'industrie de l'aluminium entre 1980 et 2006. L'agent de recherche pour le Centre de recherche en développement territorial de l'Université du Québec à Chicoutimi (CRDT-UQAC), M. Jasmin Tremblay, a superposé les données de consommation mondiale d'aluminium sur le produit intérieur brut (PIB) réel mondial. Cette figure démontre que l'augmentation de la demande d'aluminium des deux dernières décennies suit la même courbe que celle du PIB mondial.

¹⁷ Rapport mondial de l'énergie 2010 de l'Agence mondiale de l'énergie

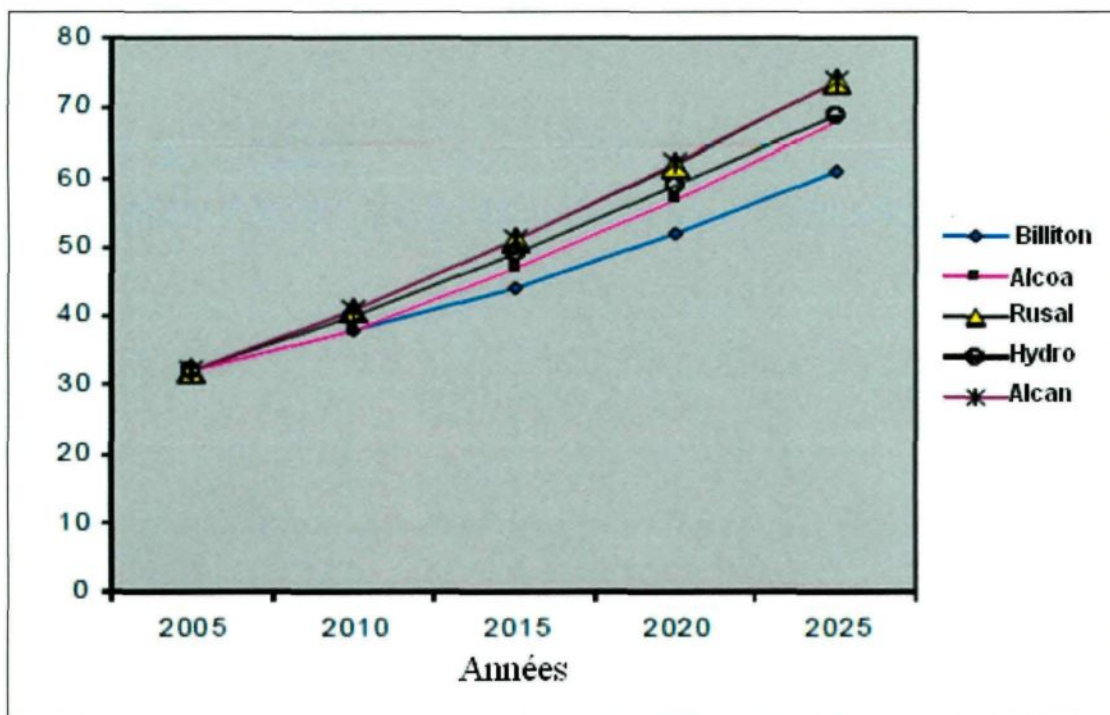
Figure 13 - Consommation mondiale d'aluminium primaire et PIB réel mondial, 1980-2006 (indice 2000=100)



Source : <http://storage.canalblog.com/53/93/447324/52288242.pdf>
 World Bureau of Metal Statistics (consommation); Fonds monétaire international (FMI)
 (PIB mondial); Traitement : CRDT-UQAC

Le 30 novembre 2007 se tenait le forum « Vision 2025, l'enjeu de l'aluminium au Saguenay-Lac-Saint-Jean ». Lors de cet événement, M. Marc-Urbain Proulx, professeur à l'UQAC, a prononcé une conférence intitulée « Éléments d'analyse du redéploiement mondial dans l'industrie de l'aluminium » dans laquelle il dresse un portrait global de la demande de l'aluminium. La figure 14 démontre clairement la tendance future de la demande mondiale d'aluminium selon les prévisions des grands producteurs tels que RUSAL, Rio Tinto Alcan, CHALCO, BHP Billiton, Norsk Hydro et Alcoa. Le scénario plausible semble être celui d'une demande qui doublerait entre 2005 et 2025.

Figure 14 - Consommation mondiale d'aluminium primaire 2005-2025 (Mt de métal)



Source : <http://vision2025.uqac.ca/forumaluminium/presentationmup.pdf>
Conseils d'administration des corporations

3.2 Perspective Rio Tinto Alcan

Toujours dans le but de dégager des perspectives d'avenir pour l'aluminium, les signaux que peuvent envoyer les dirigeants des grands producteurs de ce métal sont des éléments à considérer. À cet égard, le 13 octobre 2010, devant le Conseil des relations internationales de Montréal, la chef de la direction de Rio Tinto Alcan, Mme Jacynthe Côté, a fait valoir que l'abondance de l'hydroélectricité, la qualité de la main-d'œuvre et la stabilité des milieux socio-économiques faisaient du Québec un endroit idéal pour la production d'aluminium sur la scène

mondiale pour les prochaines décennies et que Rio Tinto Alcan entendait maintenir ses investissements dans la province pour en profiter¹⁸.

Elle a aussi souligné que l'utilisation de l'aluminium allait beaucoup augmenter, et ce, pendant longtemps, car la croissance de la demande pour ce métal léger est une des plus fortes du secteur des ressources naturelles. La demande en aluminium devrait doubler d'ici dix ans et croître de 4 à 5 % par année pendant 20 ans, selon les projections de Rio Tinto Alcan. D'ici la fin de 2010, la demande mondiale devrait dépasser 40 millions de tonnes et 80 millions en 2025¹⁹.

Finalement, elle a souligné que le fait que l'aluminium du Québec soit produit à partir d'énergie renouvelable pourrait également s'avérer un atout de taille dans l'avenir. D'ailleurs, l'équipe de marketing de l'entreprise envisage la possibilité de lancer un label « aluminium vert²⁰ ».

3.3 Exportation d'électricité

Exporter l'hydroélectricité du Québec a deux conséquences positives, l'une économique et l'autre environnementale. Économiquement, exporter signifie faire entrer des devises par la vente d'électricité aux États-Unis. Cela a un impact positif

¹⁸ Source : Journal La Presse, édition du 14 octobre 2010, section Affaires.

¹⁹ Marc-Urbain Proulx

²⁰ Expression de Mme Jacinthe Côté pour définir de l'aluminium avec une faible empreinte carbone

sur la balance commerciale du Québec et du Canada. En 2009, les exportations nettes d'Hydro-Québec ont compté pour seulement 10 % du volume des ventes, mais ont généré 22 % du bénéfice net de l'entreprise²¹. Pour la seule année 2008, les revenus d'exportation ont atteint 1,9 milliards \$²². La société d'État prévoit d'ailleurs verser 9,2 milliards au gouvernement du Québec²³ pour la période 2009 - 2013. Bien que l'exportation d'électricité soit une opportunité économique intéressante, il est possible qu'il soit tout de même plus rentable de produire de l'aluminium avec l'électricité du Québec et d'exporter le produit fini par la suite. L'objectif de ce chapitre n'est pas d'identifier le meilleur débouché pour l'hydroélectricité québécoise, mais plutôt de souligner certaines possibilités d'envergure.

Sur le plan environnemental, l'exportation permet aux Américains d'éviter l'utilisation de centrales de production d'électricité au gaz ou au charbon, évitant ainsi des émissions importantes de GES. Depuis 2001, c'est plus de 30 Mt de GES qui ont ainsi été évitées en Amérique du Nord grâce aux exportations d'Hydro-Québec²⁴.

De plus, Hydro-Québec prétend que les exportations d'électricité favorisent le développement d'autres filières énergétiques renouvelables dans le nord-est du

²¹ <http://hqenviro.turbulent.ca/developpement/34/le-developpement-des-marches-externes>

²² Plan stratégique 2009-2013 d'Hydro-Québec, P-25

²³ Plan stratégique 2009-2013 d'Hydro-Québec, P-5

²⁴ Plan stratégique 2009-2013 d'Hydro-Québec, P-25

continent²⁵. Du au fait qu'elle soit constante et mobilisable à volonté, l'hydroélectricité est la seule énergie renouvelable pouvant prendre le relais des énergies telles que l'éolien et le solaire qui nécessitent une puissance de réserve, à cause de l'intermittence de leur production.

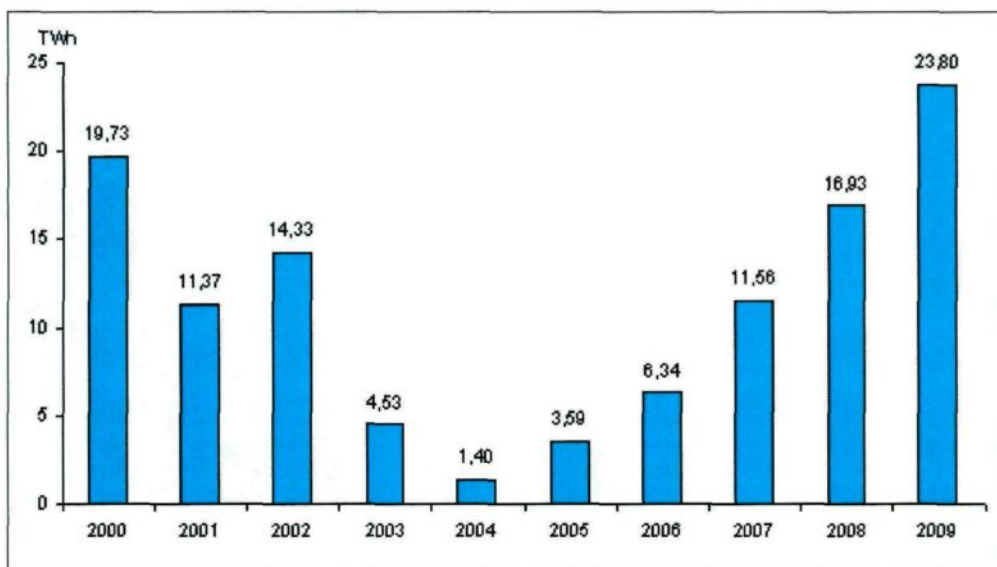
La figure 15 provient du site Internet du MRNF. Elle fait état des exportations nettes d'électricité de 2000 à 2009, c'est-à-dire de la somme des exportations moins les importations, excluant les approvisionnements des chutes Churchill. On y constate une grande variation sur une courte période (8 années). Alors qu'en 2000 les ventes atteignaient 19,7 TWh, elles ont diminué jusqu'à un niveau historiquement bas de 1,4 TWh en 2004. Hydro-Québec en attribue la cause à la réduction de la marge de manœuvre ainsi qu'à la faible hydraulité du moment.

Depuis 2004, la mise en service de nouvelles centrales hydroélectriques (Toulnostouc, Eastmain-1 et Péribonka) et le relèvement du niveau d'hydraulité ont permis d'augmenter les exportations d'électricité, qui ont atteint 23,8 TWh en 2009²⁶, dont près de 70 % ont été dirigées vers les États-Unis, le reste étant dirigé vers d'autres provinces du Canada (Nouveau-Brunswick et Ontario).

²⁵ <http://hqenviro.turbulent.ca/developpement/34/le-developpement-des-marches-externes>

²⁶ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-electricite.jsp>

Figure 15 –Hydro-Québec : Exportations nettes d'électricité (2000-2009)



Source : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-electricite.jsp>

3.3.1 Capacités d'interconnexion

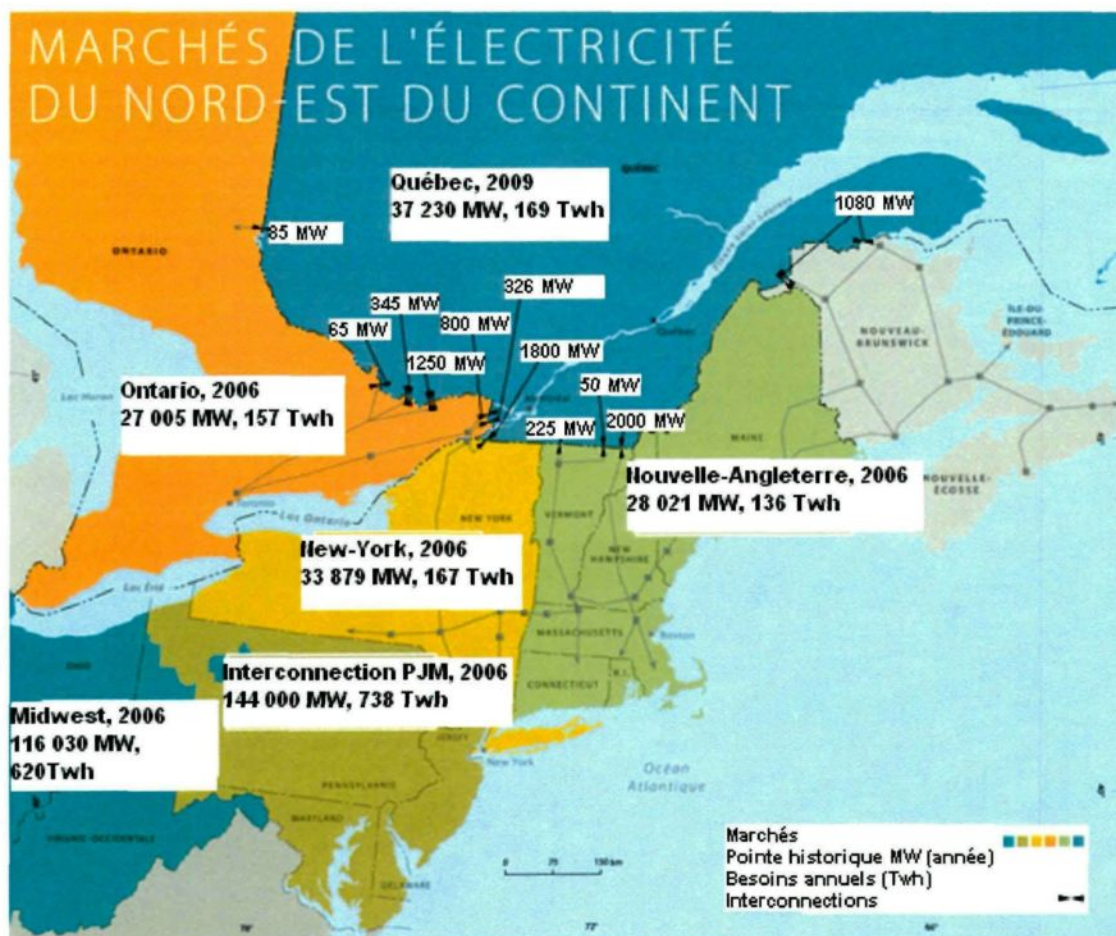
Une interconnexion permet d'acheminer de l'électricité sur des réseaux à l'extérieur des frontières du Québec. Grâce à ses 16 interconnexions, le Québec a accès à plusieurs marchés. En plus des lignes donnant accès à l'Ontario et aux Maritimes, tout le nord-est des États-Unis demeure un marché disponible (figure 16). Par exemple, le Vermont achète environ un tiers de son énergie à Hydro-Québec²⁷ et, depuis 1980, la Nouvelle-Angleterre achète environ la moitié des exportations d'Hydro-Québec²⁸. Même l'ouest de l'État de New York peut être

²⁷ <http://hqenviro.turbulent.ca/energie/5/une-fiabilite-garante-de-la-securite-energetique>

²⁸ <http://hqenviro.turbulent.ca/energie/5/une-fiabilite-garante-de-la-securite-energetique>

alimenté par des opérations de transit par les interconnexions d'Hydro-Québec avec l'Ontario. Il serait intéressant d'approfondir le fait qu'une partie de la production d'électricité aux États-Unis soit faite à partir du gaz et que celui-ci semble atteindre des prix peu élevés. Il faudra en voir les conséquences sur les exportations du Québec.

Figure 16 Marchés de l'électricité du nord-est du continent



Source : Hydro-Québec 2011, <http://hqenviro.turbulent.ca/energie/5/une-fiabilite-garante-de-la-securite-energetique>

3.3.2 Prévisions pour la demande américaine en électricité

Le « World Energy Outlook 2008 » a publié un scénario d'avenir de la demande énergétique des États-Unis jusqu'en 2030 (tableau 6). La dernière colonne du tableau (2006-2030) indique le pourcentage annuel d'augmentation de la consommation pour chaque type d'énergie. Ainsi, dans le cas de l'électricité, elle devrait croître de 1,3 % par année, passant de 277 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 2006 à 376 Mtep en 2030.

Tableau 6 - Demande énergétique à venir pour les États-Unis

	2006	2015	2030	Variation
	Mtep	Mtep	Mtep	2006-2030
Charbon	470	512	577	0.9%
Pétrole	679	668	683	0.0%
Gaz	432	454	478	0.4%
Nucléaire	184	199	232	1.0%
Hydroélectricité	22	23	24	0.4%
Biomasse	68	111	170	3.9%
Renouvelable	11	29	65	7.9%
Total	1865	1996	2229	0.7%
Électricité	277	310	376	1.3%

Source : <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/weo2008.pdf> p-187

Cependant, l'élément qui pourrait avoir le plus d'influence sur les exportations vers les États-Unis est le développement législatif récent. En effet, en juin 2009, la Chambre des représentants des États-Unis a adopté le projet de loi 13 qui prévoit l'obligation pour les principaux distributeurs d'électricité d'accroître progressivement à 20 % la part des énergies renouvelables dans leur approvisionnement énergétique afin de réduire leurs émissions de GES²⁹.

3.4 Les tendances d'électrification des transports

La voiture électrique a longtemps été davantage un rêve qu'une réalité. C'est maintenant quelque chose de bien réel. L'année 2010 a laissé place à de nombreuses initiatives de production de voitures électriques de différents constructeurs automobiles. Le Salon de l'auto de Détroit 2010 en a d'ailleurs fait le thème de son événement annuel sous le nom de « Electric Avenue ». Une vingtaine de modèles y étaient exposés avec des noms de voiture bien connus tels BMW et son Concept Active E avec des accumulateurs lithium-ion qui se rechargent en trois heures, l'Audi e-Tron, la C30 électrique de Volvo, la i-MiEV de Mitsubishi, la LEAF de Nissan, la Prius hybride rechargeable de Toyota et finalement la Chevrolet Volt, commercialisée en septembre 2010 aux États-Unis.

²⁹ *American Clean Energy and Security Act of 2009* (H. R. 2454, Waxman-Markey).

3.4.1 Le Québec

En tant que quatrième producteur mondial d'hydroélectricité derrière les États-Unis, la Chine et le Brésil³⁰, le Québec a une possibilité intéressante de réduire sa consommation de pétrole par le biais de l'électrification des transports. Pour les pays qui produisent leur électricité à partir de carburant fossile, l'avantage de passer du moteur thermique au moteur électrique est principalement de réduire le smog urbain, sans toutefois réduire la consommation d'énergie non renouvelable.

Pour le Québec, le transfert du thermique à l'électrique offrirait l'opportunité de réduire directement sa consommation de pétrole, ce qui signifie que plutôt que de rouler avec une énergie provenant de l'extérieur de ses frontières, on consommerait l'hydroélectricité produite ici. Mme Nathalie Normandeau, alors ministre des Ressources naturelles, a d'ailleurs affirmé que d'ici 2020, l'objectif est de faire passer de 38 % à 32 % la part du pétrole dans le bilan énergétique du Québec³¹. C'est aussi pour la province une opportunité de réduire ses émissions de GES puisque le secteur des transports représentait 43 % des émissions de GES du territoire en 2008³².

En plus du fait que les constructeurs automobiles offrent de plus en plus de technologies électriques et hybrides rechargeables, il existe aussi une réelle

³⁰ Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques. Page-V

³¹ Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques. Page-V

³² Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques. Page-VII

volonté politique à cet égard. En effet, le 7 avril 2011, le gouvernement du Québec a procédé au lancement d'un important plan d'action sur les véhicules électriques comprenant de nombreuses mesures et objectifs. Il est proposé dans le plan qu'en 2020 :

- 25 % des ventes de nouveaux véhicules légers pour passagers soient des véhicules électriques³³;
- En 2020, ces 300 000 véhicules électriques permettront une réduction de 900 000 tonnes de GES³⁴;
- Ces véhicules engendreront une économie de 384 millions de litres d'essence;
- En 2030, il y aura 1,2 million de véhicules électriques sur les routes au Québec³⁵.

Le plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques s'articule autour de quatre axes :

- Informer les utilisateurs potentiels et les encourager à se tourner vers les motorisations électriques et hybrides;

³³ Cela correspond à environ 118 000 nouveaux véhicules électriques neufs vendus en 2020. En comptant les véhicules électriques achetés les années précédentes, il y aura près de 300 000 véhicules électriques en circulation sur les routes du Québec en 2020.

³⁴ Cela équivaut à 6 % des efforts de réduction du Québec pour atteindre les cibles de 2020.

³⁵ Ce qui permettra la réduction de 3,5 millions de tonnes d'émissions de GES et une économie de 1,5 milliard de litres d'essence.

- Accélérer le déploiement des véhicules électriques, notamment sur le plan de l'infrastructure de recharge;
- Utiliser l'électricité comme source d'énergie en matière de transport collectif en soutenant les sociétés de transport, l'Agence métropolitaine de transport (AMT) et autres organisations actives en transport collectif;
- Appuyer la filière industrielle afin qu'elle développe et fabrique des produits innovants et structurants lui permettant de se démarquer à l'échelle mondiale.

Finalement, en mars 2009, le gouvernement du Québec annonçait un crédit d'impôt remboursable pour l'acquisition ou la location d'un véhicule neuf écoénergétique. En vigueur depuis le 1^{er} janvier 2009, ce crédit d'impôt est de 3 000 dollars pour les véhicules hybrides rechargeables et de 8 000 dollars pour les véhicules entièrement électriques autres que les véhicules à basse vitesse. À compter du 1^{er} janvier 2012, cet incitatif fiscal deviendrait un rabais à l'achat ou à la location et remplacerait le crédit d'impôt. Le tableau 7 fait état des incitatifs fiscaux du gouvernement du Québec pour les années 2012 à 2015.

Tableau 7 – Incitatifs fiscaux par type de véhicule (2012-2015)

	2012	2013	2014	2015
Véhicules entièrement électriques et hybrides rechargeables avec une batterie de 4 kWh et plus. (ex. : Nissan Leaf, Chevrolet Volt)	De 5 000 \$ à 8 000 \$	De 4 500 \$ à 8 000 \$	De 3 000 \$ à 4 000 \$	De 2 000 \$ à 3 000 \$
Véhicules électriques à basse vitesse (VBV)	1 000 \$	1 000 \$	800 \$	600 \$
Véhicules hybrides (ex. : Toyota Prius, Honda Civic Hybride)	1 000 \$	500 \$	-	-

Source : Plan d'action 2011-2012 du gouvernement du Québec sur les véhicules électriques. P-21

3.4.2 Forum Urba 2015

En mai 2010 s'est tenu le colloque « L'électrification des transports au Québec : du mythe à la réalité... À quelle vitesse? ». Organisé par le Forum Urba 2015 du Département d'études urbaines et touristiques de l'École des sciences de la gestion (ESG) de l'UQAM, cet événement avait pour but de réfléchir sur l'implantation de l'électrification des transports terrestres collectifs et individuels et des personnes au Québec, en s'appuyant sur des enjeux urbains, énergétiques, environnementaux, économiques et technologiques et de procédés déjà utilisés à l'étranger.

Lors de ce colloque, différents conférenciers d'Europe et des États-Unis ont confirmé qu'au cours des cinq prochaines années, les obstacles à l'électrification des transports, qu'ils soient techniques, urbains, administratifs ou financiers, seront levés. Les expérimentations se multiplient, tant pour tester les voitures hybrides et entièrement électriques que pour électrifier les autobus et les trains de banlieue.

3.5 Retour sur la question principale

Comme on a pu le constater, la demande en hydroélectricité risque fort d'augmenter au cours des prochaines années. Au-delà de la question de savoir comment utiliser l'hydroélectricité du Québec, il y a la problématique de l'utilisation selon le moment de l'année, car si l'on construit davantage de barrages pour combler les besoins hivernaux, le problème de surplus durant le reste de l'année, particulièrement l'été, s'amplifie.

Il serait certainement possible de pousser plus loin l'analyse afin de comprendre les futurs besoins énergétiques des États-Unis selon le moment de l'année. Il sera aussi intéressant de voir l'effet de l'électrification des transports sur le bilan de consommation hydroélectrique du Québec. Bien qu'on puisse supposer que le rechargement des véhicules se fera principalement la nuit, quel sera l'impact sur le réseau de distribution d'Hydro-Québec, surtout si les automobilistes du nord-est des États-Unis optent pour la voiture électrique? Finalement, est-ce que le

gouvernement du Québec décidera d'ouvrir ses portes à des investissements supplémentaires en matière de production d'aluminium très énergivore? Tout cela laisse penser que le Québec pourrait utiliser son hydroélectricité afin d'enrichir la collectivité par de nombreuses façons plutôt que de l'utiliser dans le chauffage et créer un problème temporel.

CHAPITRE 4

LE GRANULÉ DE BOIS

L'hydroélectricité n'est donc peut-être pas la meilleure alternative au mazout. D'une part, les besoins de production d'électricité augmentent au moment de l'année où la demande est déjà à son plus fort, occasionnant pour Hydro-Québec le défi de gérer cette pointe hivernale et même d'envisager de s'approvisionner à l'extérieur des frontières du Québec. D'autre part, il est possible de produire davantage d'activité économique à valeur ajoutée plutôt que de la simple production de chaleur.

Il existe d'autres formes d'énergie pour le chauffage des bâtiments et le granulé de bois pourrait être celle à privilégier. Ce chapitre présentera la popularité de cette forme d'énergie en Europe, analysera le fait que le Québec en produit abondamment et finalement, prouvera que c'est une énergie renouvelable et neutre sur le plan des émissions de GES. D'abord, un bref regard sera porté sur les autres énergies renouvelables pouvant être utilisées pour le chauffage.

4.1 Autres énergies renouvelables pour le chauffage

Avant de penser aux meilleures formes d'énergie, il importe d'abord de s'assurer de l'efficacité énergétique des bâtiments. Cela passe bien sûr par l'optimisation de l'isolation de l'enveloppe des bâtiments ainsi que par l'utilisation judicieuse de l'énergie

Tout comme l'hydroélectricité, l'énergie électrique éolienne est produite par une turbine, mais alimentée par la force du vent plutôt que celle de l'eau. Bien qu'il s'agisse d'énergie renouvelable, le questionnement quant à la pertinence de son utilisation pour le chauffage demeure le même que dans le cas de l'hydroélectricité, puisque peu importe la source, il est probablement plus judicieux d'utiliser l'électricité produite à d'autres fins que le chauffage.

Lorsqu'on parle de l'énergie solaire, il importe de bien faire la distinction entre les différentes variantes de cette forme d'énergie renouvelable. Il y a tout d'abord la production d'électricité à partir de cellules photovoltaïques. Dans un contexte où l'on parle de production de chaleur, le scénario est le même que pour l'hydroélectricité et l'éolien, car il est question de production d'électricité. Le solaire thermique quant à lui consiste à des capteurs vitrés dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffé par le rayonnement solaire. Dans ce cas, il est question uniquement de production de chaleur, ce qui est pertinent pour le

chauffage de bâtiment. Cette approche est d'ailleurs très complémentaire à d'autres systèmes chauffant de l'eau.

Finalement, il y a le concept de solaire passif qui consiste à construire un bâtiment en considérant l'orientation du soleil. Ainsi, un maximum de fenêtres sera placé du côté sud afin que le rayonnement solaire puisse pénétrer à l'intérieur. Dans la mesure où en hiver le soleil est plus bas à l'horizon, les rayons auront ainsi davantage de facilité à pénétrer le bâtiment.

La géothermie consiste à puiser la chaleur géologique du sol. À une certaine profondeur (environ 100 mètres), la température se tient généralement autour de 9°C, et ce, à longueur d'année. Ainsi, à partir d'une boucle fermée branchée à un compresseur (aussi appelée pompe à chaleur), on parvient à profiter de cette chaleur tout en utilisant peu d'électricité. Cette forme d'énergie renouvelable est donc très performante. De plus, en été, il est possible de l'utiliser à des fins de climatisation. Le principal inconvénient se situe au niveau des coûts d'installation.

La méthanisation consiste à capter le méthane (CH_4) issu de la décomposition de la biomasse placée en milieu fermé (anaérobie). Après avoir été purifié, le gaz produit peut avoir les mêmes applications que le gaz naturel, soit la production de chaleur et d'électricité, ou être utilisé dans les transports.

4.2 Le granulé de bois

Le granulé de bois, communément appelé granule au Québec et *pellet* dans le reste du monde, est issu du compactage des sous-produits de la première transformation du bois, comme la sciure. Son diamètre varie entre 6 et 8 mm et sa longueur entre 15 et 25 mm. Son taux d'humidité est inférieur à 10 %, ce qui en fait un combustible au pouvoir calorifique pouvant atteindre autour 4 900 kWh/t. Il y a environ autant d'énergie dans une tonne de granulés que dans 500 litres de mazout³⁶.

Bien que solide et trois fois plus volumineux que le carburant fossile, sa popularité est liée à sa capacité d'être facilement emmagasiné dans des réservoirs, d'être transportable par des systèmes automatiques et même d'être livré par camion souffleur.

4.2.1 Historique

C'est à la suite du premier choc pétrolier des années 70 que le granulé de bois a été inventé³⁷. C'est dans la ville de Cowansville, aux États-Unis, que des granuleurs de luzerne ont eu l'idée de compresser de la sciure de bois et de

³⁶ <http://www.sudenergies.fr/Petite-histoire-du-granule>

³⁷ <http://www.crepito.fr/index.php/granule-de-bois/quelle-est-lhistoire-de-ce-combustible.html>

l'utiliser comme combustible dans des chaudières industrielles³⁸. Quelque temps après, un ingénieur de Boeing conçoit le premier poêle aux granulés automatique domestique³⁹. Ce nouveau type de poêle devient rapidement populaire et plusieurs fabricants se lancent dans sa production au cours des années 80.

Malheureusement, l'image de ce nouveau combustible se dégrade en raison de mauvaises conceptions de poêles et de granulés de bois de mauvaise qualité. Finalement, le contre-choc pétrolier et le développement du gaz naturel auront pour effet de réduire considérablement l'élan de cette filière énergétique.

Au milieu des années 90, la Suède lui redonnera un deuxième souffle en devenant rapidement un gros producteur et consommateur de granulés de bois⁴⁰. Cet engouement est devenu possible grâce à l'établissement de normes de qualité de production du biocombustible. L'Autriche deviendra le deuxième pays à emboîter le pas, suivi de nombreux autres pays européens.

Le Saguenay-Lac-Saint-Jean a vu apparaître sa première usine de granulés en 1995 avec l'ouverture de Granules LG de Saint-Félicien. Depuis ses débuts, sa production est principalement destinée aux États-Unis et à l'Italie. Cependant, depuis 2010, cette réalité a considérablement changé puisque les États-Unis ont

³⁸<http://chauffage-ecolo.woodcocoon.com/chauffage-au-pellet/les-origines-et-lhistoire-du-pellet/>

³⁹<http://www.sudenergies.fr/Petite-histoire-du-granule>

⁴⁰<http://www.sudenergies.fr/Petite-histoire-du-granule>

développé leurs propres usines de granulés. De plus, la force du dollar américain est venue pratiquement fermer la frontière, obligeant les producteurs canadiens à chercher de nouveaux marchés, principalement domestiques.

4.3 Production et consommation de granulés de bois

4.3.1 Portrait régional

Afin d'obtenir des statistiques sur la capacité de production régionale de granulés, M. Ken St-Gelais, contrôleur administratif chez Granules LG de Saint-Félicien, a été interrogé en novembre 2010. Il a indiqué que la capacité de production de l'usine est de 120 000 tonnes annuellement.

Dans le contexte de la crise forestière, les fermetures d'usine de sciage ont cependant réduit considérablement les possibilités d'approvisionnement en planure, matière première pour la production de ce biocombustible de bois. En mai 2009, Granules LG de Saint-Félicien a acquis un séchoir afin de pouvoir recevoir de la matière humide telle que des copeaux et ainsi diversifier ses sources d'approvisionnement. En octobre 2009, l'entreprise a ajouté un broyeur afin de pouvoir déchiqueter de grosses pièces de bois. Toujours selon M. St-Gelais, ce processus permet même d'utiliser des arbres de forêts brûlées de 3 à 5 ans. Plutôt

que de se décomposer lentement dans la nature, la régénération forestière est accélérée par la libération des troncs brûlés sur les parterres.

De plus, durement touchée par la crise, l'industrie forestière de prélèvement du bois en forêt est sollicitée économiquement par cette récupération. Cependant, au moment de l'entrevue avec M. St-Gelais, l'abondance de résidus de scierie ne rendait pas nécessaire l'approvisionnement de bois décheté. Il est d'avis qu'il en sera ainsi encore quelques années dans la mesure où il semble se dessiner un surplus de copeaux, soit jusqu'à un million de tonnes en 2011⁴¹.

Un autre élément marquant dans l'industrie régionale du granulé a été l'association entre le Conseil de bande de Mashteuiatsh, Groupe ADL et Granules LG pour construire une autre usine de granulés dans la communauté autochtone. Dans un premier temps, l'usine pourra produire 40 000 tonnes de granulés auxquelles pourront s'ajouter 40 000 tonnes supplémentaires, portant ainsi la capacité de production du groupe LG à 200 000 tonnes en 2012.

Sur le plan de la consommation, M. St-Gelais estime que la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean brûle autour de 4 000 tonnes de granulés annuellement pour le chauffage résidentiel. Sur le plan québécois, la consommation serait évaluée à 60 000 tonnes. Ce chiffre est corroboré par M. John W. Arsenault, vice-

⁴¹ Selon le Q-Web, organisme québécois de promotion de l'industrie du bois.

président de la compagnie Énergex en Estrie⁴². C'est donc dire que la différence entre la consommation et la capacité de production est énorme. La région serait même en mesure de fournir tout le Québec, et ce, même si la demande était trois fois plus élevée.

Depuis décembre 2009, on retrouve un nouveau producteur, Granulco, dans le complexe industriel de la forestière Boisaco à Sacré-Cœur. Dans une entrevue accordée en novembre 2010, Mme Jacynthe Rodrigue, gestionnaire des ventes division Énergie, confirmait que la production était de 20 000 tonnes sur une capacité de 40 000 tonnes, ce qui porte la capacité régionale à 240 000 tonnes. Lors de l'entrevue, Mme Rodrigue a fait état des données spécifiques et récentes provenant d'une rencontre québécoise entre les six principaux producteurs de granulés de la province et le MRNF. Selon ses dires, la consommation de granulés au Québec est d'environ 66 000 tonnes alors que sa capacité de production serait de 365 000 tonnes. Il y aurait également des demandes d'autorisation gouvernementale pour 800 000 tonnes de granulés.

Aux États-Unis, dans un contexte de parité monétaire, la capacité de production serait de 8 millions de tonnes alors que la production réelle ne serait que de la

⁴² Lors d'un entretien en novembre 2010

moitié, soit 4 millions de tonnes, alors que la demande n'est que de 2 millions de tonnes de granulés⁴³.

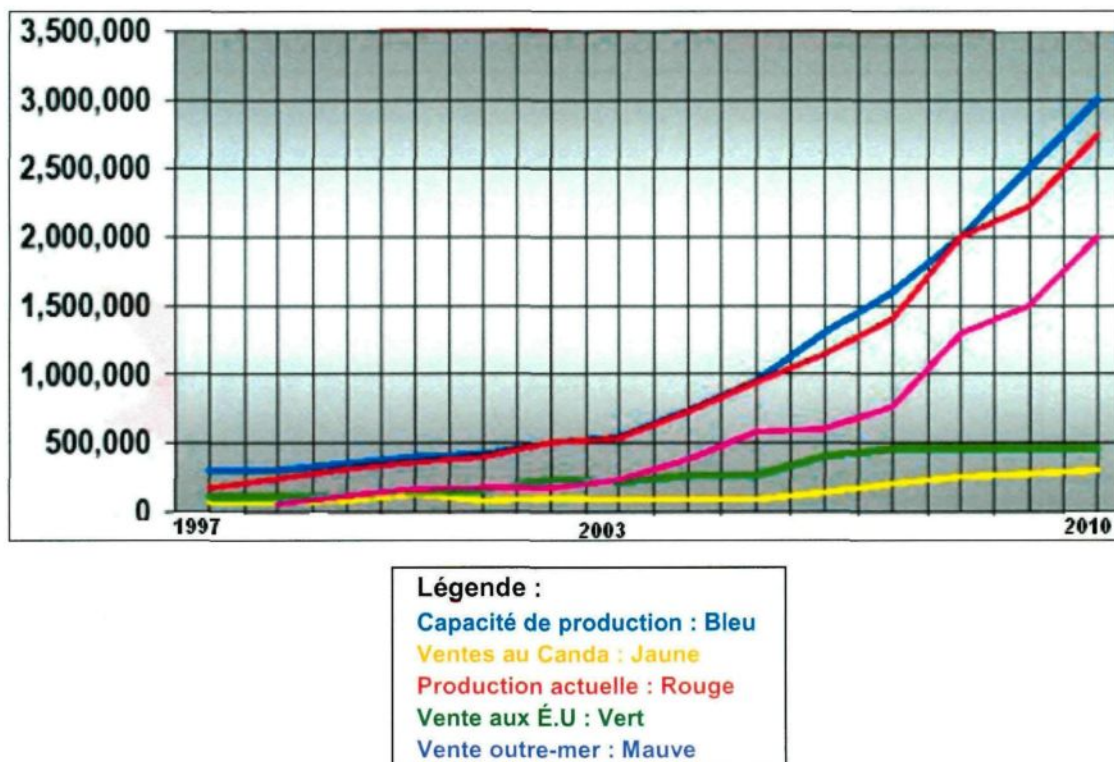
4.3.2 Portrait canadien

La « Canadian Wood Pellet Association » est la principale association canadienne de producteurs de granulés. La figure 17 trace l'évolution de l'industrie du granulé au pays, données présentées par le président de l'association, M. John Swann. On y constate que pour 2010, la production atteignait 2 750 000 tonnes sur une capacité de production de 3 millions de tonnes. Cette filière énergétique ne tourne pas à plein régime puisque les installations actuelles pourraient produire encore 250 000 tonnes pour atteindre sa pleine capacité de production.

Les données de l'organisation nous apprennent également que la majorité de la production est destinée à des marchés outre-mer, soit 2 millions de tonnes, alors que 450 000 tonnes sont écoulées aux États-Unis et que 300 000 tonnes sont consommées au Canada. On peut donc conclure que même si l'utilisation de granulés au pays doublait, il n'y aurait nul besoin de construire de nouvelles installations.

⁴³ Propos de Mme Jacynthe Rodrigue, gestionnaire des ventes – division Énergie chez Boisaco

Figure 17 – Industrie canadienne du granulé de bois (1997-2010)



Source: John Swann, 2011, Canadian Wood Pellet Association

4.3.3 Portrait européen

Lorsqu'on tente d'obtenir de l'information sur la filière du granulé de bois en Europe, l'association autrichienne ProPellets semble être une référence très crédible, car leurs statistiques sont reprises par de nombreux organismes. L'objectif de ProPellets est de faire la promotion et l'organisation de l'ensemble de la filière du granulé dans ce pays. Pour ce faire, l'organisme fournit de l'information au public, propose aux gouvernements des politiques, surveille la qualité et la standardisation du granulé pour les consommateurs, accumule et publie des

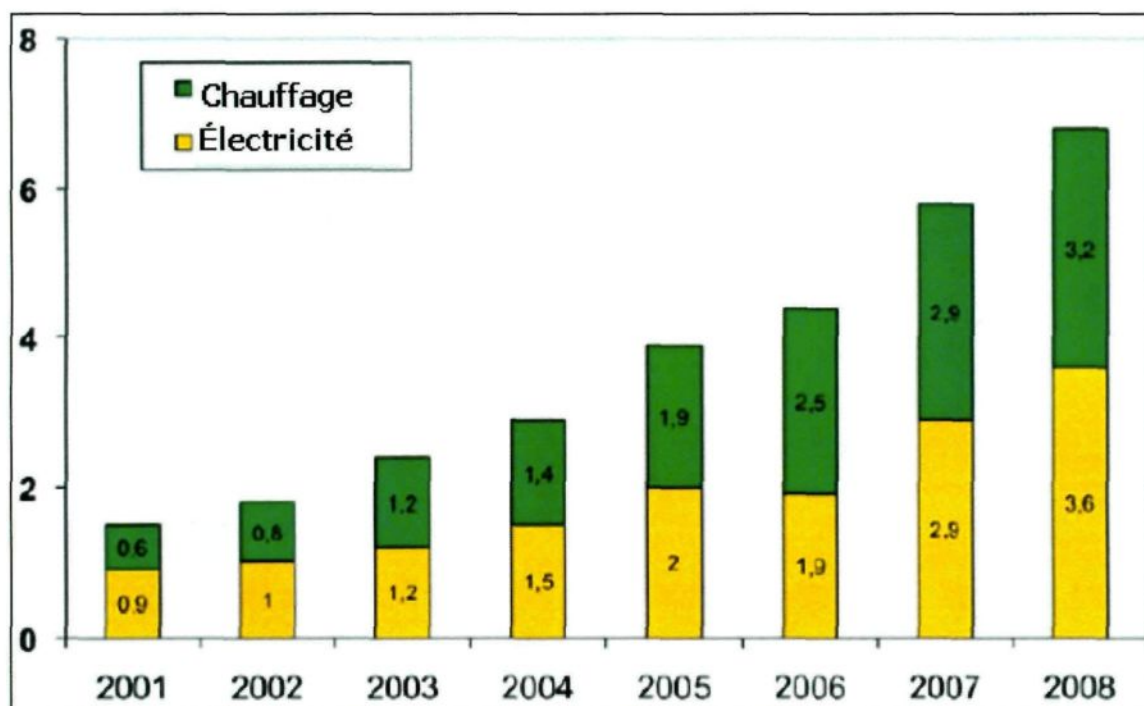
statistiques. Son travail se fait en partenariat avec d'autres organisations dans d'autres pays.

Le Syndicat national des producteurs de granulés de bois en France développe des échanges avec ProPellets considère d'ailleurs cette organisation comme un modèle en Europe. Le Dr Christian Rakos, directeur exécutif de l'organisme autrichien est souvent appelé à présenter publiquement le portrait de la production et de l'utilisation du granulé en Europe. La majorité des prochains tableaux et statistiques sont tirés de présentations du Dr Rakos.

Le premier graphique de la figure 18 démontre la croissance de la demande de granulés de bois en Europe. En quelques années, les Européens sont passés de moins de 2 millions de tonnes (2001) pour atteindre près de 7 millions de tonnes sept années plus tard. Sur son site Internet, la Canadian Wood Pellet Association reproduit ce même graphique avec une note signifiant qu'en 2010, la consommation aurait atteint approximativement les 9,5 millions de tonnes.

Ce graphique permet également de réaliser que la quantité de granulés utilisée pour produire de l'électricité est légèrement supérieure à celle servant à la production de la chaleur. Ceci sera traité à la fin de ce chapitre.

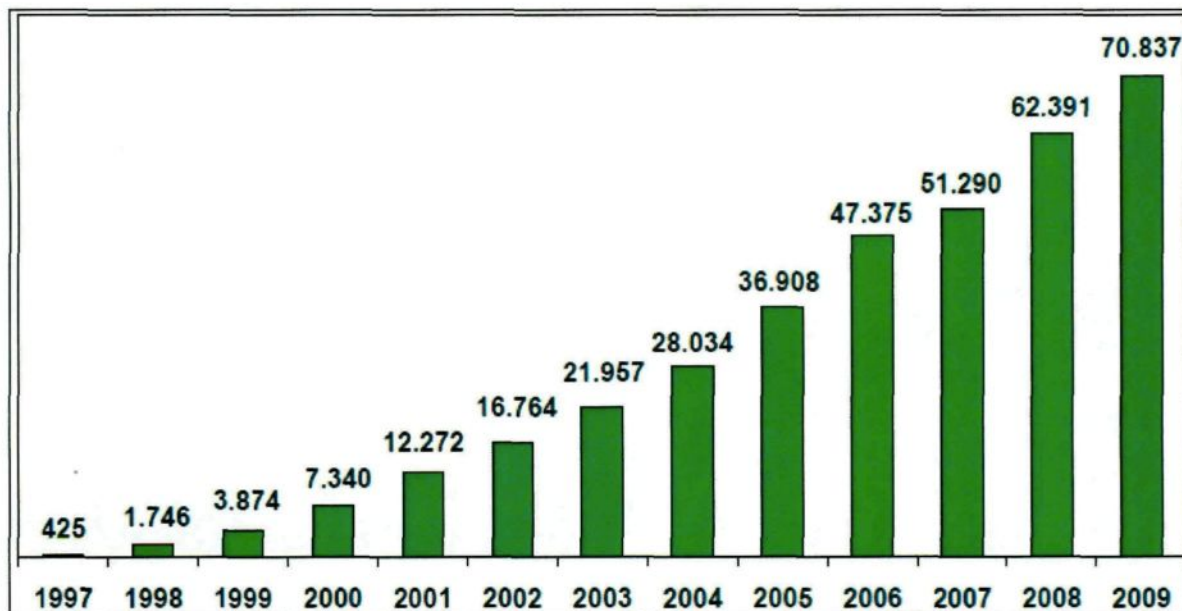
Figure 18 - Demande de granulés en Europe en million de tonnes (2001-2008)



Source : Christian Rakos, 2010 Propellet, http://www.pellet.org/wpac_003.htm

L'organisme de promotion ProPellet est issu d'un pays où la filière du granulé de bois a vécu une croissance fulgurante. La figure 19 permet de constater qu'en un peu plus d'une décennie, l'Autriche est passée de 427 à tout près de 71 000 installations de chauffage aux granulés.

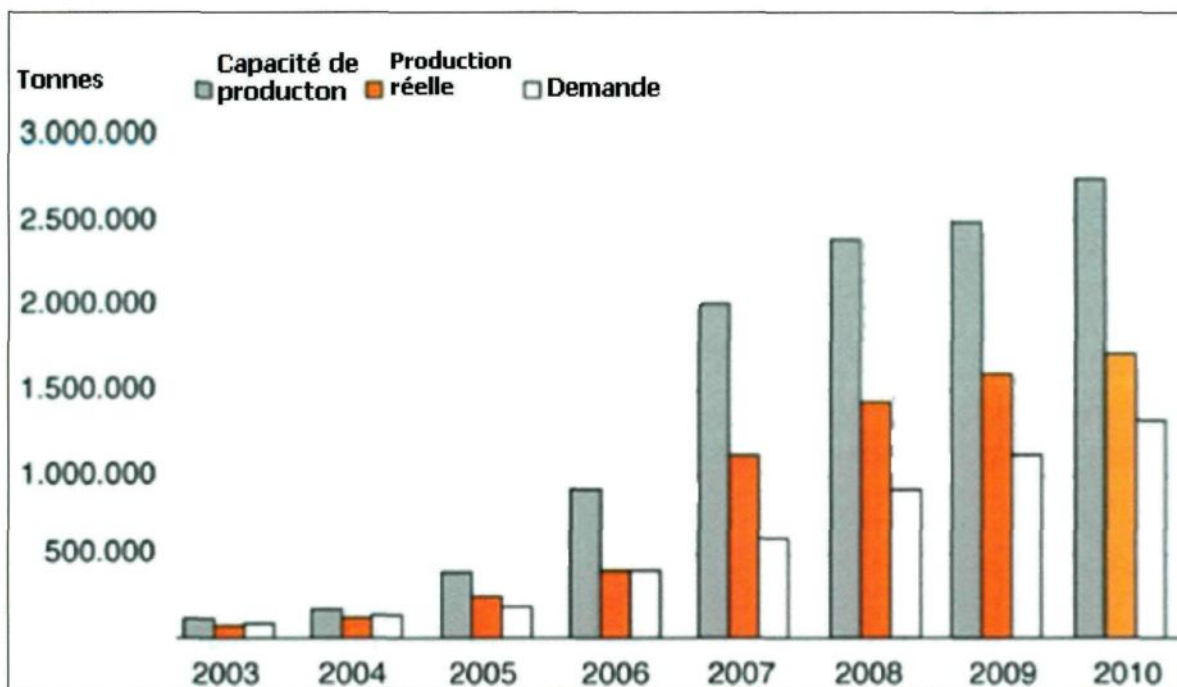
Figure 19 - Nombre de chaudières résidentielles aux granules de bois en Autriche
(1997-2009)



Source : Christian Rakos, 2010
<http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

Les deux prochaines figures donnent des indices quant à l'ampleur de l'évolution de la filière du granulé de bois dans les deux pays ayant eu la plus forte croissance en Europe. La figure 20 fait état, pour l'Allemagne, d'une grande augmentation de la consommation, mais aussi de sa production réelle et de sa capacité de production. Les chiffres démontrent qu'en peu de temps, la filière a connu un essor important. L'autre aspect qui ressort de ces données est le fait qu'il y a encore beaucoup de place pour de nouvelles utilisations du granulé, car même si la consommation doublait, le pays serait capable de répondre à la demande grâce à une capacité de production de 2 500 000 tonnes en 2009.

Figure 20 - Le granulé de bois en Allemagne (2003-2010)

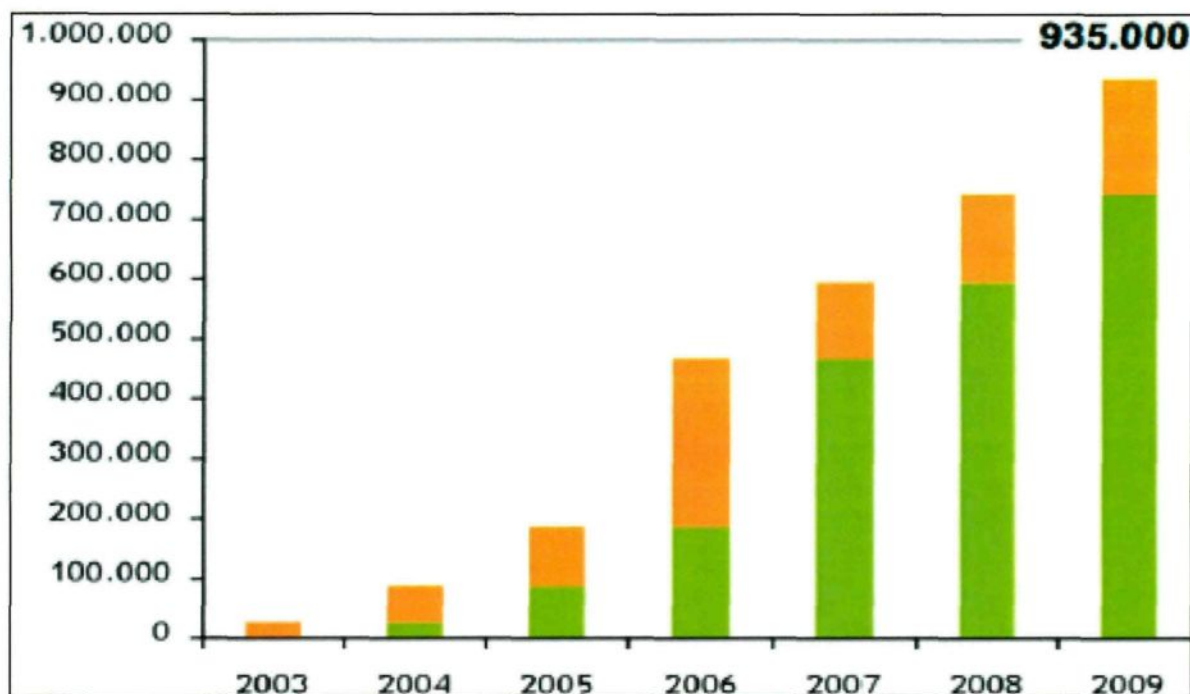


Source : Christian Rakos

<http://pelleheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

La figure 21 montre qu'en seulement six ans, il s'est vendu plus de 900 000 poêles à granulés en Italie. Les barres du graphique indiquent le nombre total de systèmes installés alors que la partie orange des barres représente les ventes annuelles.

Figure 21 - Nombre de poêles aux granulés en Italie (2003-2009)

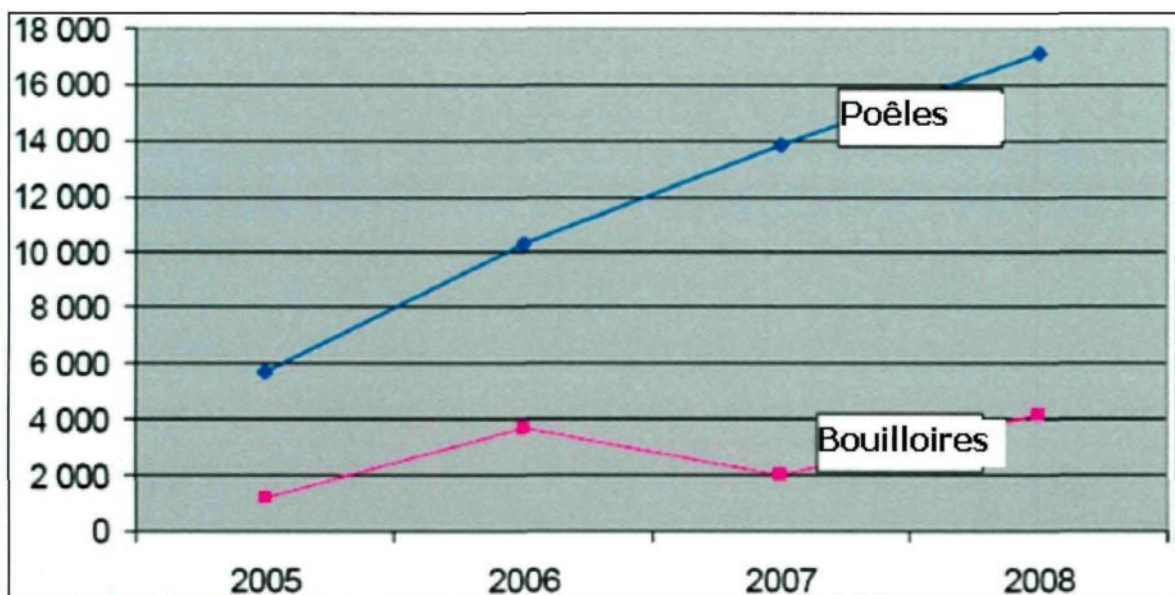


Source : Christian Rakos

<http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

Malgré des chiffres moins impressionnants, la France affiche tout de même une croissance sur le plan des acquisitions de système de chauffage à granulés de bois. Ces données présentées par ProPellet proviennent du Syndicat des énergies renouvelables-ObservER. La figure 22 démontre que les Français se tournent davantage vers les poêles à granulés que vers les bouilloires à granulés. L'hypothèse est que c'est une question de coût, car l'acquisition d'un poêle coûte en général presque la moitié du prix d'une bouilloire.

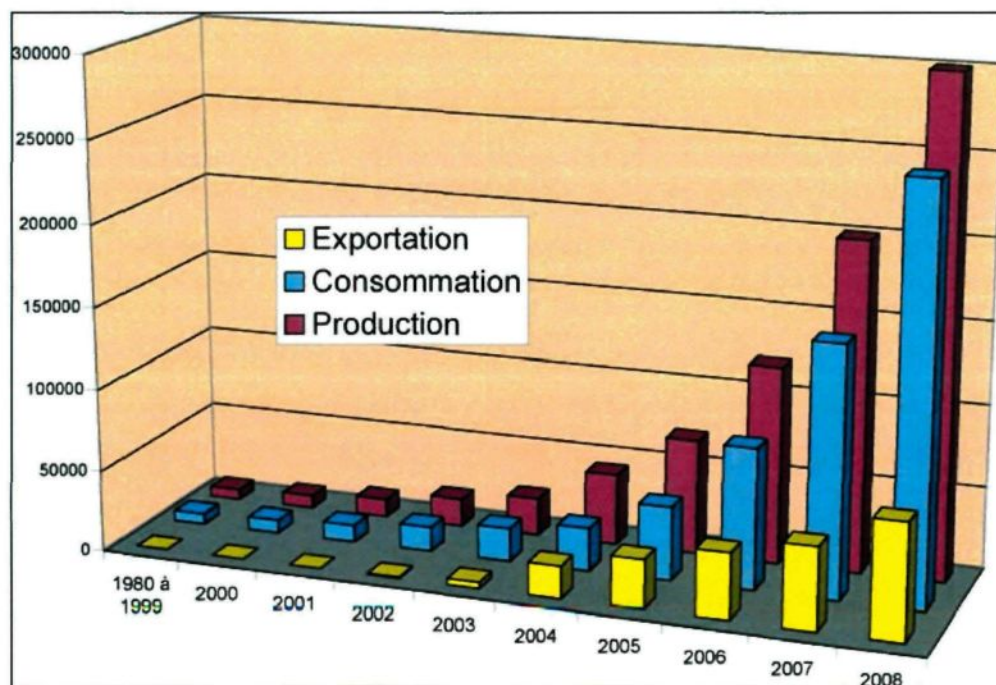
Figure 22 - Ventes annuelles de poêles et bouilloires en France (2005-2008)



Source : Christian Rakos, Syndicat des énergies renouvelables-ObservER
<http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

Toujours en ce qui a trait à la France, la figure 23 montre l'essor de la production de granulés. En 2008, près de 300 000 tonnes étaient produites alors qu'il s'en consommait 250 000 tonnes. Depuis 2004, la France est même devenue un exportateur de ce biocombustible.

Figure 23 - Production de granulés de bois en France de 2000 à 2008 (en tonnes)

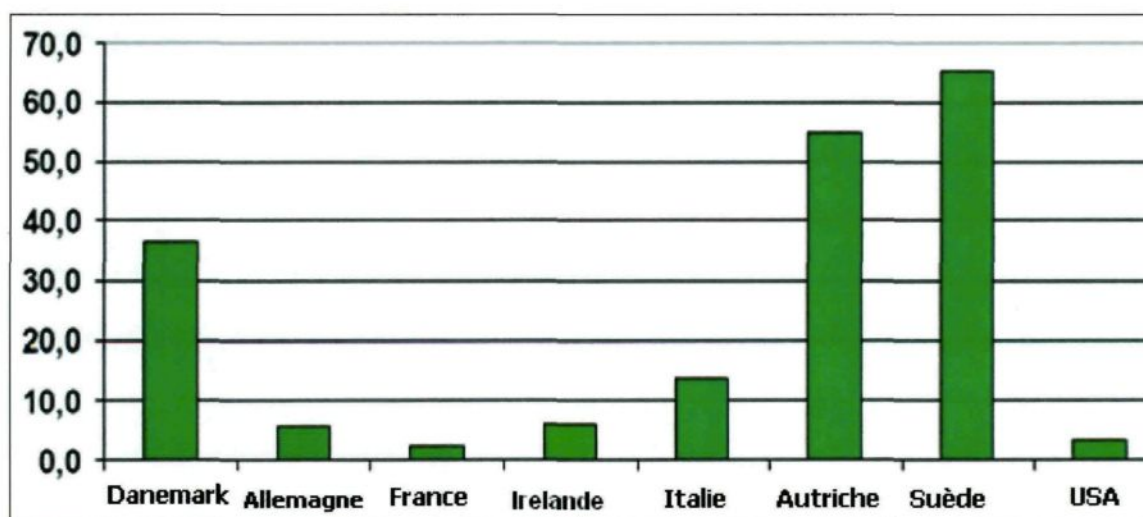


Source : <http://www.bioenergie-promotion.fr/477/granules-biocombustibles-en-france/>

La figure 24 présente la consommation de granulés *per capita*. Ces chiffres permettent de saisir le degré de pénétration de la filière énergétique en matière de chauffage. Ainsi, on y observe que l'Autriche arrive deuxième pour la consommation de granulés pour le chauffage résidentiel avec 55 kg de biocombustible par personne par année. Seule la Suède en consomme plus avec 65 kg par personne par année. Même si la vente de poêles en Italie atteignait presque un million de systèmes installés (figure 21), le pays consomme seulement 14 kg de granulés par personne (figure 24). Cette information permet de réaliser qu'il y a encore beaucoup de marchés potentiels. Cependant, il importe de

considérer le climat, car les besoins en chauffage sont certainement moindres dans le sud du pays.

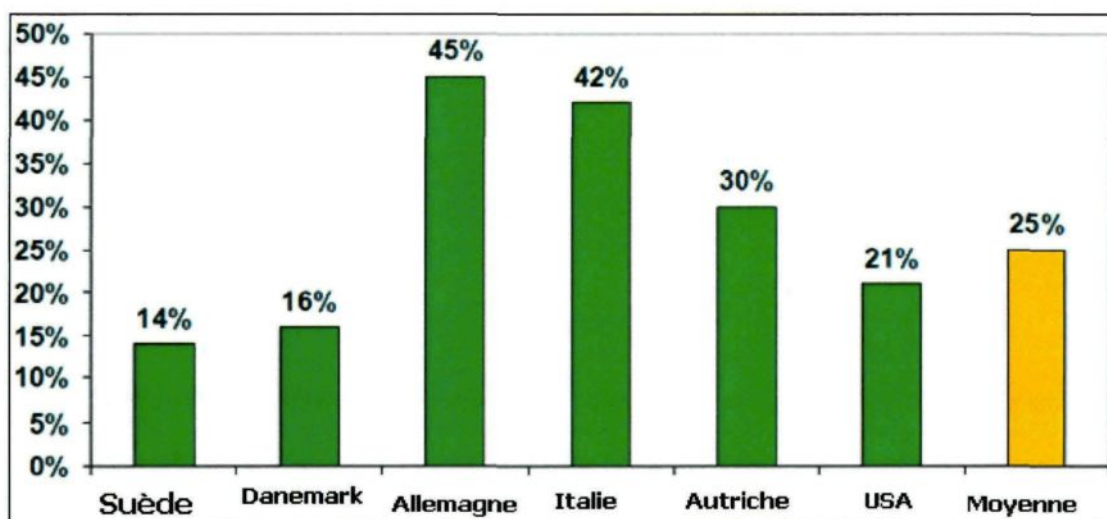
Figure 24 - Consommation de granulés de bois en 2009 par personne pour le chauffage résidentiel (en kg)



Source : Christian Rakos <http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

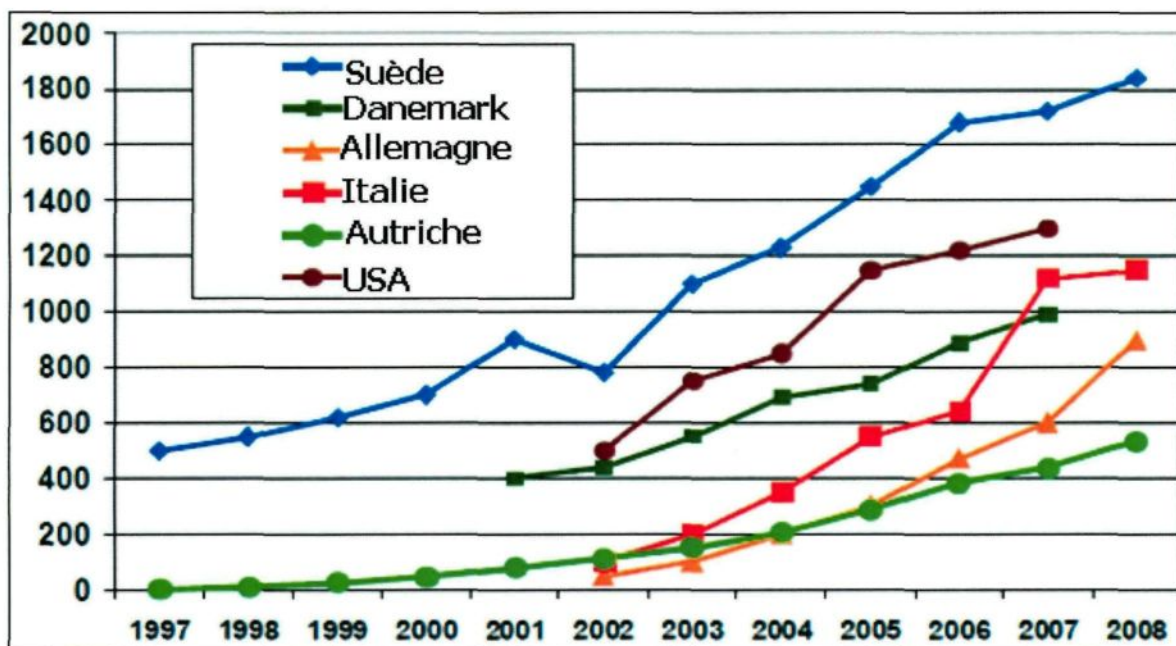
La figure 25 indique que le marché européen du granulé de bois a connu une croissance entre 2003 et 2008 : les marchés de l'Italie et de l'Allemagne ont augmenté de plus de 40 % et le marché de l'Autriche a augmenté de 30 %. En Suède et au Danemark, les chiffres se situent autour de 15 % de croissance. Ces chiffres plus faibles par rapport aux autres pays peuvent être dus au fait que ces deux pays ont été les premiers en Europe à entreprendre le virage vers le granulé de bois. C'est d'ailleurs ce que démontre la figure 26 où l'on peut remarquer des consommations de granulés significatives de 500 000 tonnes dès 1997 pour la Suède et de 400 000 tonnes en 2001 pour le Danemark. Les statistiques du Dr Christian Rakos rapportent également que la croissance de la consommation de granulés des États-Unis qui s'établit à 21 %.

Figure 25 - Pourcentage d'augmentation dans différents marchés entre 2003 et 2008



Source : <http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

Figure 26 - Croissance de l'utilisation de granulés 1997-2008 (en milliers de tonnes)



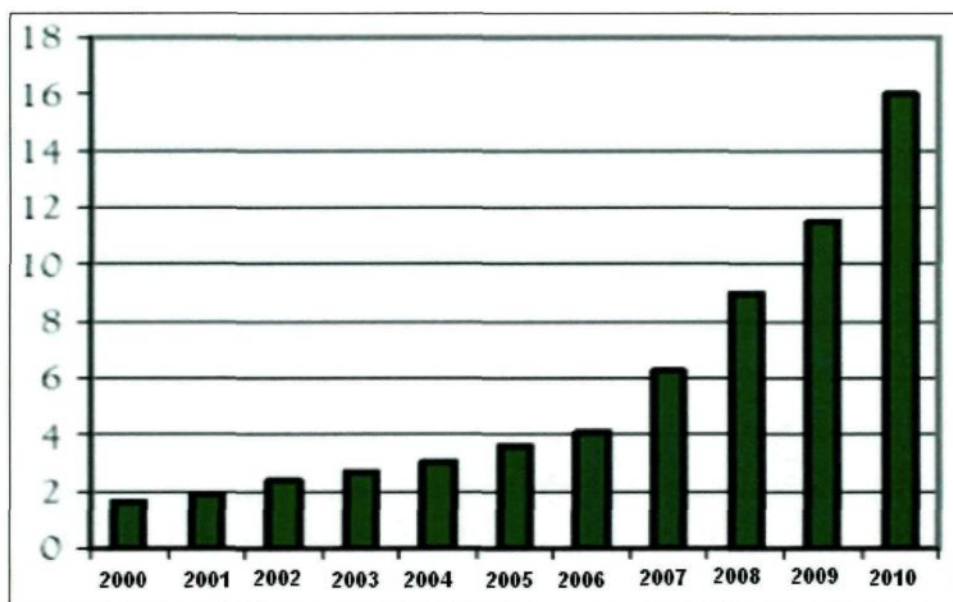
Source : Christian Rakos

<http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

4.3.4 Marchés mondiaux

Bien que l'Europe soit le continent faisant le plus usage de granulés de bois, le reste de la planète suit lui aussi le mouvement pour cette forme d'énergie. La figure 27 montre que depuis le début de la décennie, la production mondiale ne cesse d'augmenter. Cependant, c'est à partir de 2005 que la croissance commence à être plus importante, pour atteindre les 9 millions de tonnes en 2008.

Figure 27 - Production mondiale de granulés de bois 2000-2010
(en million de tonnes)



Source : <http://www.pellet.org/linked/2010-10-13%20gordon%20murray%20nl%20presentation.pdf>
Wood pellet association FAO, UNECE

Le tableau 8 dresse le portrait mondial de la filière du granulé de bois pour l'année 2009, en indiquant pour chaque pays la production et la consommation de granulés, le nombre d'usines de production et si le pays agit à titre d'importateur ou d'exportateur. Les États-Unis comptent le plus d'usines de production (97), suivis de près par la Suède (94).

Le Canada ne produit que 600 000 tonnes de granulés de moins que les États-Unis, et ce, avec seulement 33 usines, ce qui dénote une capacité de production supérieure de ces usines. À titre d'exemple, le Japon a produit 60 000 tonnes avec

55 usines, alors que la Chine en a produit 50 000 avec une seule usine. Finalement, le tableau 8 permet de constater que la majorité des pays utilise le granulé pour produire de la chaleur plutôt que de l'électricité.

Tableau 8 – Marché mondial du granulé de bois en 2009

Pays	<i>Produc- teurs (usines)</i>	<i>Production de granulés (en milliers de tonnes)</i>	<i>Consommation de granulés (en milliers de tonnes)</i>	<i>Exportation (Importation) (en milliers de tonnes)</i>	<i>Production de chaleur</i>	<i>Production d'électricité</i>
Autriche	25	626	509	117	X	
Belgique	10	325	920	(595)		X
Bulgarie	17	27	3	24	X	
République tchèque	12	27	3	24	X	
Danemark	12	134	1 060	(926)	X	X
Estonie	6	338	0	338		
Finlande	19	373	149	223	X	
France	0	240	200	40	X	
Allemagne	50	1 460	900	560	X	
Grèce	5	28	11	17	X	
Hongrie	7	5	10	(5)	X	
Irlande	2	17	30	(13)	X	
Italie	75	650	850	(200)	X	
Lettonie	15	379	39	340	X	
Lituanie	6	120	20	100	X	
Luxembourg	0	0	5	(5)	X	
Hollande	2	120	913	(793)		X
Norvège	8	35	39	(4.7)	X	
Pologne	21	340	120	220	X	
Portugal	6	100	10	90	X	

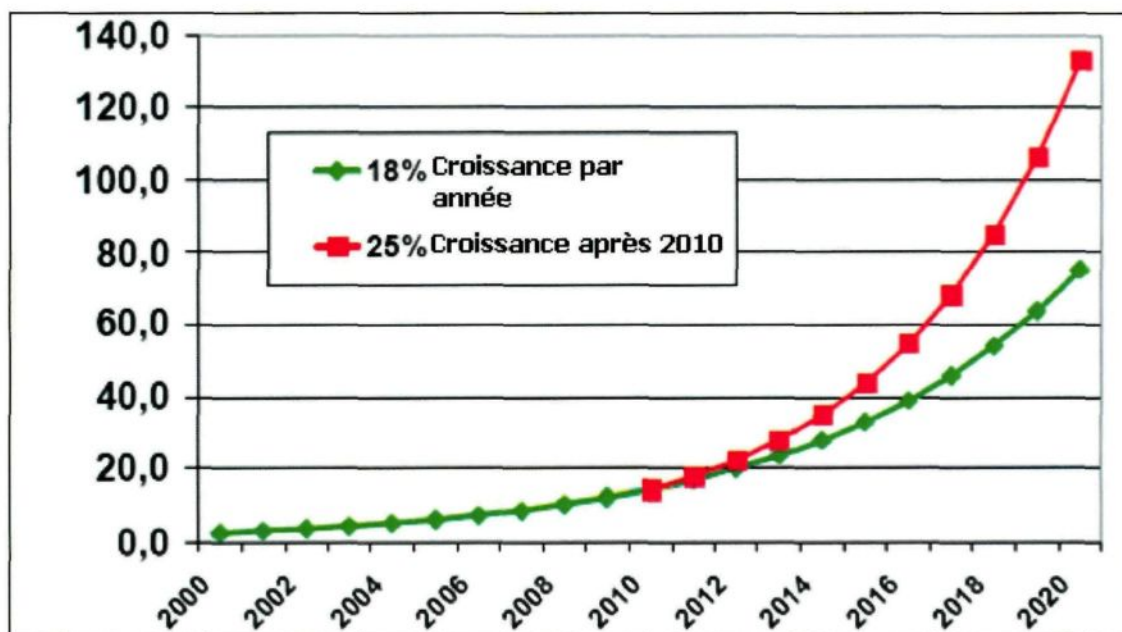
Pays	Producteurs (usines)	Production de granulés (en milliers de tonnes)	Consommation de granulés (en milliers de tonnes)	Exportation (Importation) (en milliers de tonnes)	Production de chaleur	Production d'électricité
Roumanie	21	114	25	89	X	
Slovaquie	14	117	17	99	X	
Slovénie	4	154	112	42	X	
Espagne	17	100	10	90	X	
Suisse	14	70	90	(20)	X	
Suède	94	1 405	1 850	(445)	X	
Royaume-Uni	15	125	176	(51)	X	X
Total Europe	477	7 429	8 073	(643)		X
Canada	33	1 200	200	1 000	X	
États-Unis	97	1 800	2 096	(296)	X	
Total Amérique du Nord	130	3 000	2 296	703		
Brésil	1	25	25	0	X	
Argentine	1	7	7	0	X	
Chili	1	20	20	0	X	
Chine	1	50	50	0	X	
Japon	55	60	109	(49)	X	X
Corée	1	10	10	0		
Nouvelle- Zélande	5	20	20	0	X	
Total Asie et Amérique Latine	65	192	241	(49)		
Total mondial	672	10 621	10 610			

Source : IEA Bioenergy, FA/UNECE, USOA (francisé par Stéphan Tremblay)

4.3.5 Prévisions de production

La figure 28 rapporte les prévisions établies par le Dr Rakos pour la production mondiale de granulés jusqu'en 2020. Les chiffres démontrent une croissance accélérée dès 2010. Dans la mesure où la croissance demeurerait la même que depuis 2001, soit 18 %, cela voudrait dire qu'il se produirait près de 80 millions de tonnes de granulés en 2020. Le chercheur formule même l'hypothèse que la croissance pourrait atteindre 25 % par année, ce qui équivaldrait à une production de plus de 130 millions de tonnes en 2020. En 2009, autour de 10 millions de tonnes de granulés étaient produites, ce chiffre serait ainsi multiplié par 13 en 11 ans.

Figure 28 - Scénarios de production de granulés de 2010 à 2020 (en million de tonnes)

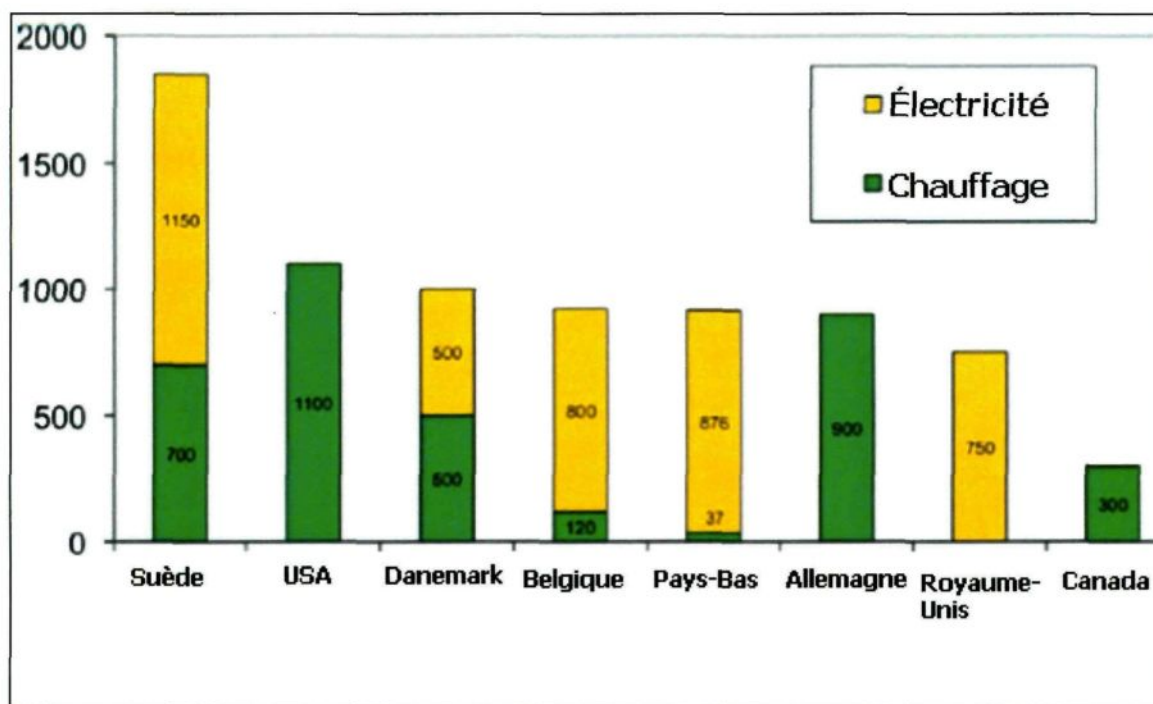


Source : <http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

4.4 Électricité versus chaleur

Comme le montre la figure 18, la consommation européenne de granulés pour la production d'électricité est légèrement supérieure à celle qui est destinée à la production de chaleur. D'ailleurs, la figure 29 indique que certains pays comme la Belgique, la Hollande et la Grande-Bretagne utilisent le granulé presque exclusivement pour la production d'électricité.

Figure 29 - Marché mondial du granulé de bois en 2009 (en milliers de tonnes)



Source : Christian Rakos

<http://www.pellet.org/linked/2010-10-13%20gordon%20murray%20nl%20presentation.pdf>

Dans la mesure où l'on considère que la combustion de biomasse est neutre en matière d'émissions de GES, on pourrait faire l'hypothèse que d'un point de vue environnemental, cette façon de produire de l'électricité puisse être une voie à privilégier, par rapport à l'utilisation de centrales au gaz, au diesel ou au charbon.

Cependant, il importe de considérer que même si la matière ligneuse est une ressource renouvelable, elle n'est pas disponible en quantité infinie. Une saine gestion est donc essentielle. Il faut donc se demander s'il est plus pertinent d'utiliser la biomasse pour la production d'électricité que pour la production de chaleur.

Cette question est valable aussi au Québec puisque les mesures d'approvisionnement d'Hydro-Québec⁴⁴ indiquent une production de 52 MW d'électricité à partir de la biomasse, et ce, dès 2012. Le procédé consiste à brûler le bois et, par le biais d'une bouilloire produisant de la vapeur, à faire tourner une turbine qui produira de l'électricité.

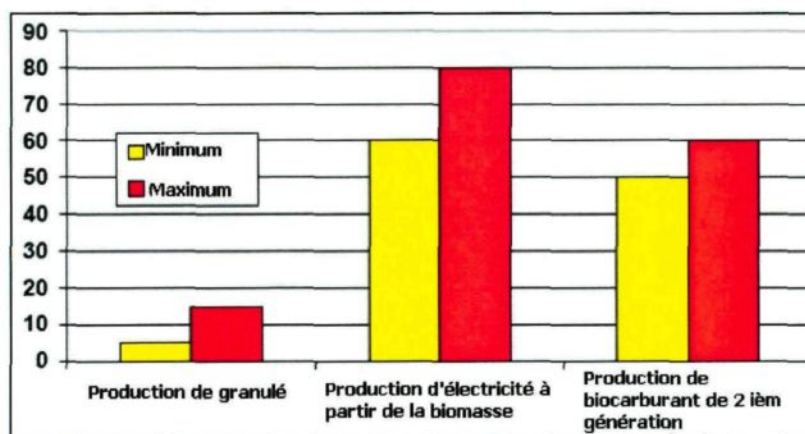
À cet égard, il est pertinent de prendre connaissance de la figure 30 du Dr Christian Rakos de ProPellets en Autriche. Le chercheur compare les pertes énergétiques lors de la production de granulés, de biocarburant et d'électricité à

⁴⁴ Plan d'approvisionnement 2011-2020 d'Hydro-Québec : Tableau « Bilan en puissance après déploiement des nouveaux moyens de gestion »

partir de la biomasse. On constate que le ratio énergétique pour la production de granulés est de loin supérieur à celui pour la production d'électricité. En effet, pour la production de granulés en Europe, les pertes oscillent entre 5 et 15 % alors que la production d'électricité génère en moyenne 70 % de perte d'efficacité. Pour la production de biocarburant, les pertes tournent autour de 55 %.

Les pertes les plus faibles sont de l'ordre de 5 %. Le chapitre 6.6 présentera les calculs obtenus à partir des données de l'usine de Granules LG indiquent des pertes d'un peu plus de 3 %. Cette différence est possiblement due au fait que l'usine québécoise utilise de l'hydroélectricité.

Figure 30 - Pertes d'énergie suite à la conversion de la biomasse (en pourcentage)



Source : Christian Rakos, 2011, http://eeconnections.net/pdf_files/PFI.pdf

On pourrait supposer que plutôt que de brûler de la biomasse pour produire de l'électricité pour ensuite produire de la chaleur, il serait beaucoup plus efficace de

chauffer directement de la biomasse déjà transformée en granulés. Cet aspect doit cependant être nuancé dans la mesure où certains types de biomasse, dont les écorces de conifère, sont plus difficiles à transformer en granulés. Dans de telles circonstances, la production d'électricité pourrait s'avérer plus efficace. Des enjeux locaux peuvent aussi avoir de l'influence sur les meilleures pratiques.

CHAPITRE 5

GRANULÉ DE BOIS PLUTÔT QUE MAZOUT : ÉTUDE COMPARATIVE

Le chapitre précédent a démontré que pour un continent avec une économie avancée comme l'Europe, le granulé de bois s'est véritablement implanté comme source d'énergie. Tel que vu dans le tableau 8, c'est aussi vrai dans de nombreux pays sur d'autres continents alors qu'au Québec, l'utilisation de cette forme de chauffage est encore peu utilisée, et ce, même s'il fait très froid en hiver et que le potentiel de production de granulés de bois est élevé.

Au Québec, le mazout est aussi utilisé comme source de chauffage. C'est un combustible fossile, donc une forme d'énergie non renouvelable qui provient de la transformation de la masse végétale à la suite de très longs processus géologiques⁴⁵. En plus d'être une forme d'énergie émettrice de GES⁴⁶, le fait que son extraction se fasse à l'extérieur des frontières du Québec a un impact négatif en matière de balance commerciale. Comme l'a démontré la figure 2, les perspectives de consommation à long terme du pétrole font état d'une croissance

⁴⁵ http://www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/biomasse/biomasse_guidedetaillerequerant.pdf p 4

⁴⁶ Voir tableau 10

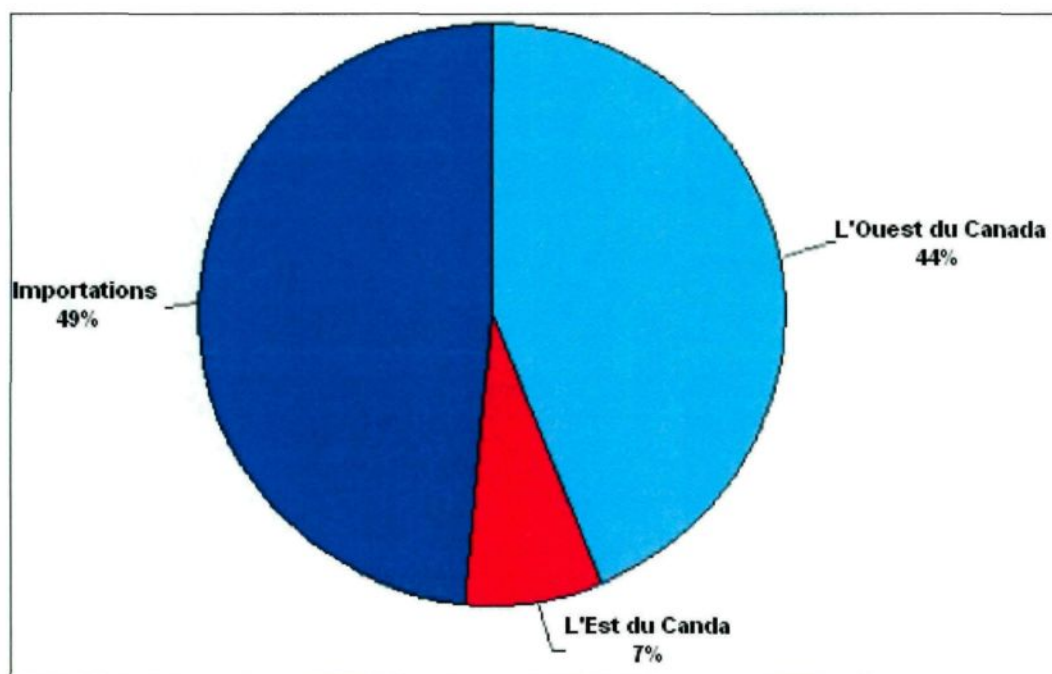
de la demande, et ce, de façon significative ce qui risque de faire augmenter les prix de cette forme d'énergie.

Le granulé de bois produit localement a quant à lui une incidence positive sur l'activité économique et, comme il le sera démontré, son bilan carbone est extrêmement bas comparativement au mazout. Ces constats amènent à poser la question à savoir si à des fins de chauffage, le granulé de bois peut devenir une meilleure alternative au mazout. Avant d'établir la comparaison entre les deux sources d'énergie, le mazout sera analysé.

5.1 Situation canadienne et québécoise

À l'échelle canadienne, la production de mazout est possible à partir du raffinage de pétrole brut extrait au pays. Les données de Statistique Canada tirées de l'Office national de l'énergie démontrent qu'en 2010 pour le Canada, 49 % du pétrole brut provenait des importations, 44 % de l'Ouest canadien et 7 % de l'Est du Canada.

Figure 31 - Pétrole brut canadien et pétrole importé – Mai 2010



Source : Office National de l'Énergie, 2010

<http://www.neb.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfmrn/prcng/crdlndptrlmpdcts/cndndstr-fra.html>

En 2008, bien qu'il se soit raffiné quotidiennement près de 475 000 barils au Québec (Pétro-Canada 130 000/ Ultramar 215 000/ Shell 130 000)⁴⁷, la province a importé la totalité du pétrole qu'elle a consommé⁴⁸. Pour l'année 2009, la province a dû s'approvisionner de 151 millions de barils⁴⁹, ce qui a imposé un poids négatif sur sa balance commerciale.

Le Canada étant un important producteur de pétrole brut, on pourrait croire que le Québec s'y approvisionne. La figure 32 montre qu'au début des années 80,

⁴⁷ www.neb.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfmrn/prcng/crdlndptrlmpdcts/cndndstr-fra.html

⁴⁸ www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-petrole.jsp

⁴⁹ www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-petrole.jsp

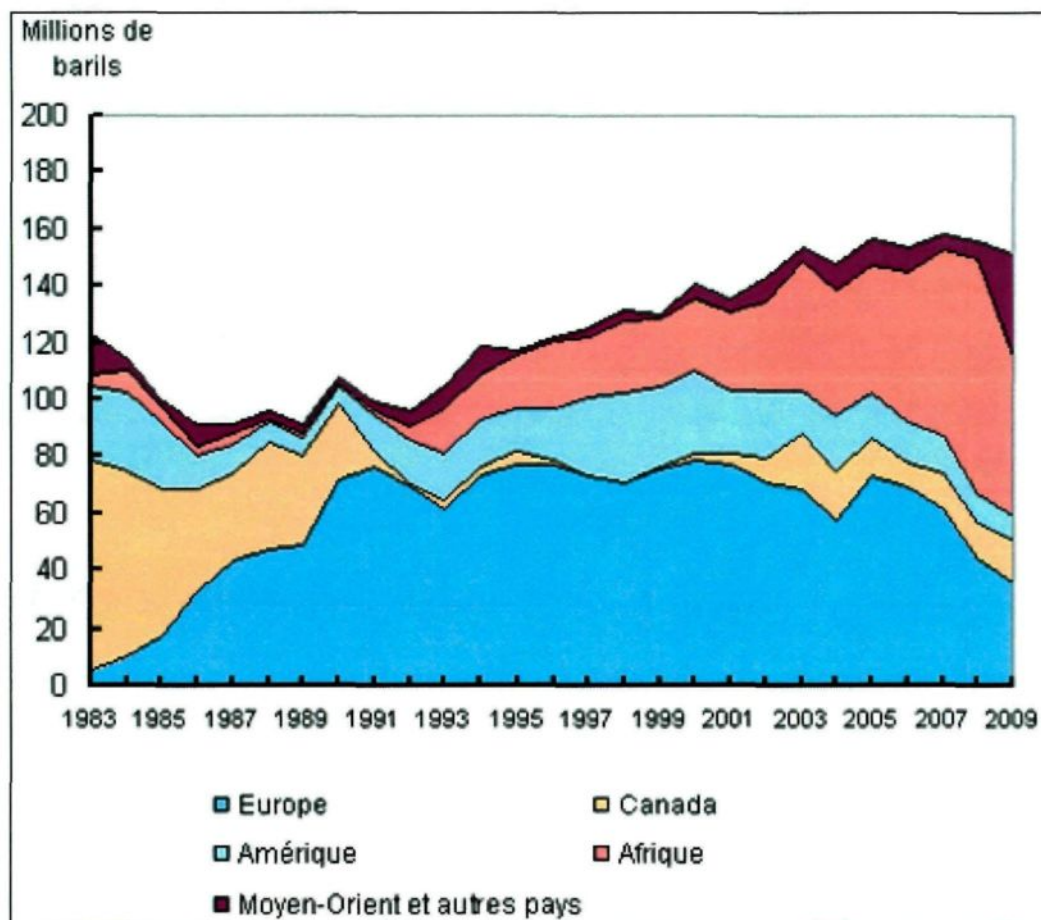
c'était principalement le cas alors que plus des trois quarts du pétrole brut provenaient de l'Ouest canadien. Toutefois, cela a diminué au point de devenir négligeable au cours des années 90. En 2009, seulement 9,2 % des approvisionnements provenaient de Terre-Neuve et 0,5 % de l'Ouest canadien.

En fait, les principaux fournisseurs proviennent plutôt des continents africain et européen. La figure 33 montre que l'Algérie est le premier fournisseur avec plus de 32 % des importations de pétrole, suivie du Royaume-Uni avec 16 %.

En matière de gaz naturel, l'Ouest canadien a fourni les 4,5 milliards de mètres cubes que le Québec a consommés en 2008.⁵⁰ Ainsi, lorsqu'il est question de carburant fossile, le Québec aurait un avantage économique important à réduire sa consommation, en plus de permettre, conséquemment, une réduction d'émissions de GES.

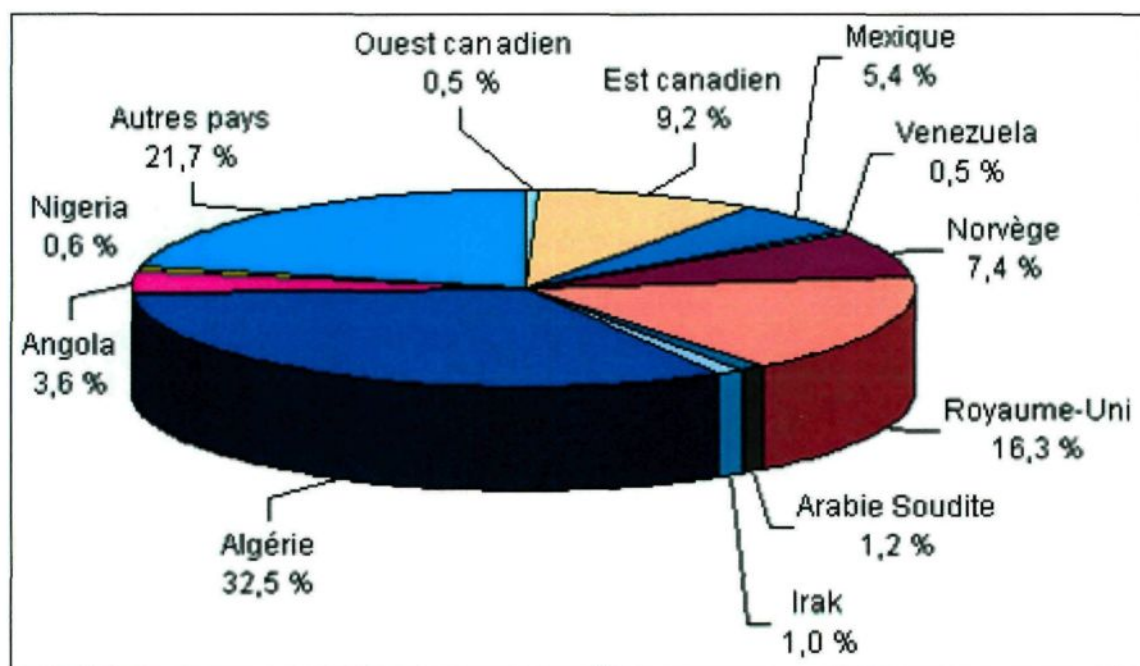
⁵⁰ www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-petrole.jsp

Figure 32 - Provenance des approvisionnements de pétrole brut (1983-2009)



Source : www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-petrole.jsp
 Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et Statistique Canada

Figure 33 - Répartition des approvisionnements de pétrole brut selon les pays (2009)



Source : www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-petrole.jsp
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et Statistique Canada

5.2 Mazout et gaz à effet de serre

En 2008, Environnement Canada a publié l'inventaire des GES du Canada (tableau 9) en établissant le coefficient d'émission pour chaque source d'énergie. Les coefficients d'émission sont des valeurs représentatives mettant en relation la quantité d'une émission et une activité associée au rejet de cette émission. La section suivante présente les coefficients les plus couramment utilisés dans le rapport d'inventaire national du Canada.

D'abord, le rapport d'Environnement Canada donne des valeurs d'émission de CO₂, CH₄ et N₂O pour chaque combustible. Les coefficients d'émission pertinents à cette étude sont ceux du mazout léger résidentiel. On obtient alors 2725 grammes de CO₂ par litre, 0,026 g de CH₄ par litre et 0,006 g de N₂O par litre.

Tableau 9 - Coefficients d'émission des produits pétroliers raffinés

Source	Coefficient d'émission (g/L)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Mazout léger			
Centrales électriques - services publics	2 725	0,18	0,031
Industrie	2 725	0,006	0,031
Consommation du producteur	2 643	0,006	0,031
Résidentiel	2 725	0,026	0,006
Foresterie, construction, administration publique et commerciale et institutionnelle	2 725	0,026	0,031

Source : Environnement Canada, 2011,
<http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=AC2B7641-1>

Cependant, dans une comparaison entre deux formes d'énergie comme le granulé de bois et le mazout, il s'avère plus complexe de prendre en considération trois GES différents, à moins de tout ramener au même dénominateur. Le tableau 10 provenant de Ressources naturelles Canada fait état des facteurs de conversion et d'émission en ramenant tous les gaz en valeur de CO₂ équivalent (CO₂ éq), en plus de donner de l'information sur leurs contenus énergétiques et leurs rendements moyens de combustion.

Ainsi, les émissions de dioxyde de carbone du mazout sont établies à 2 840 kg de CO₂éq. par mètre cube. Puisque dans un mètre cube il y a 1000 litres, on peut donc convenir que le facteur d'émission pour un litre de mazout est de 2,84 kg. C'est donc cette donnée qui sera considérée dans le présent travail.

Tableau 10 - Facteur d'émissions et de charge de différents combustibles

Facteur Conversion	Description	Combustible	Valeur	Unités	Source
Contenu énergétique	Quantité d'énergie dans le combustible principal	Gaz naturel	0,03723	Gj/m ³	Ressources naturelles Canada, 1999, Tables de concertation, 1998-1999, www.nccp.ca/NCCP/national_process/issues/index_f.html
		Gaz de pétrole liquéfié (GPL/propane)	25,53	Gj/m ³	Office national de l'énergie (du Canada), <i>Évaluation du marché de l'énergie – Facteurs de conversion</i> , Déc. 2004
		Mazout léger n° 2	38,68	Gj/m ³	Ressources naturelles Canada, 1999, <i>Perspectives des émissions du Canada : une mise à jour</i>
		Mazout lourd n° 6 (mazout C)	41,73	Gj/m ³	
Facteur de charge	Rendement de combustion moyen au cours de l'année	Gaz naturel	80 %	%	Marbek Resource Consultants
		Gaz de pétrole liquéfié (GPL/propane)	70 %	%	
		Mazout léger n° 2	80 %	%	
		Mazout lourd n°6 (mazout C)	80 %	%	
Facteur des émissions de GES	Combustion industrielle	Gaz naturel	1,902	kgéqCO ₂ e/m ³	Environnement Canada, août 2004, <i>Inventaire canadien des gaz à effet de serre, 1990-2002</i> ; Annexe 7 : facteurs d'émission
		Gaz de pétrole liquéfié (GPL/propane)	1 534	kgéqCO ₂ e/m ³	
		Mazout léger n°2	2 840	kgéqCO ₂ e/m ³	
		Mazout lourd n°6 (mazout C)	3 112	kgéqCO ₂ e/m ³	
Facteur des émissions de GES	Moyenne en Ontario en 2002	Électricité	0,258	kgCO ₂ e/kWh	Environnement Canada, août 2004, <i>Inventaire canadien des gaz à effet de serre, 1990-2002</i> ; Annexe 13 : Tableaux d'intensité électrique.
	Moyenne au Québec en 2002	Électricité	0,0018	kgCO ₂ e/kWh	
	Moyenne en Nouvelle-Écosse en 2000	Électricité	0,759	kgCO ₂ e/kWh	
Conversion de volume	—	—	1 000	litres/m ³	www.onlineconversion.com/
Conversion énergétique	—	—	277,8	kWh/GJ	

Source: <http://oee.nrcan.gc.ca/industriel/info-technique/analyse-comparative/itcu/annexe-a.cfm?attr=8>

5.3 Comparaison théorique entre le mazout et le granulé de bois

Pour établir la comparaison, trois aspects seront mesurés soit la différence de coût d'utilisation, la différence d'émissions de GES et la convivialité d'utilisation. La première étape avant de faire la comparaison est d'établir un dénominateur commun entre le contenu énergétique du mazout et celui du granulé de bois. Le contenu énergétique, aussi appelé rendement énergétique, puissance calorifique ou pouvoir calorifique, signifie la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible⁵¹.

L'entreprise Granules LG de Saint-Félicien estime que pour le granulé de bois, le rendement énergétique moyen est de 8 500 Btu (British Thermal Unit) par livre⁵². Dans le cadre de ce travail, l'unité de référence utilisée sera le sac de 18,2 kg (40 livres) puisque c'est le format vendu depuis plusieurs années dans l'industrie. Il est donc facile d'en établir le prix. La tonne pourrait être aussi considérée comme unité, mais au niveau résidentiel, la plus petite unité qu'est le sac sera plus facile à utiliser. Le contenu énergétique d'un sac est donc de 340 000 Btu. En faisant la conversion en système métrique, cela fait 358,7 mégajoules (MJ) par sac.

⁵¹ http://fr.wikipedia.org/wiki/Pouvoir_calorifique_inf%C3%A9rieur

⁵² <http://www.granuleslg.com/>

En ce qui a trait au mazout, selon Ressources Naturelles Canada⁵³, un litre de mazout no 2 a une puissance calorifique d'environ 38,2 MJ, soit 36 500 Btu. À partir de ces informations, en utilisant une règle de trois, on obtient qu'au niveau énergétique, un sac de granulés est égal à 9,3 litres de mazout.

5.4 Pourcentage d'efficacité

Dans la réalité d'utilisation, le contenu énergétique ne sera jamais totalement traduit en chaleur puisqu'une fournaise ou une bouilloire n'arrivent pas à convertir complètement le pouvoir calorifique du combustible. On parlera alors de rendement ou de taux d'efficacité des systèmes de chauffage. Le pourcentage de perte varie selon le modèle, l'âge ou le niveau d'entretien du système. Le tableau 10 indique que le rendement moyen des systèmes résidentiels au mazout est de 80 %⁵⁴. Pour les systèmes à granulés de bois, certaines bouilloires telles que Harman peuvent atteindre jusqu'à 90 % d'efficacité⁵⁵. La fournaise Caddy Alterna de SBI donne, quant à elle, un rendement de 81,2 %⁵⁶. Étant donné que les rendements de combustion sont soit similaires ou inférieurs à 8 %, cette donnée ne sera pas prise en considération dans le cadre de cette comparaison théorique.

⁵³ <http://oee.nrcan.gc.ca/residentiel/personnel/lexique-chauffage-mazout.cfm?attr=4>

⁵⁴ Voir facteur de charge, tableau 10, mazout n°2

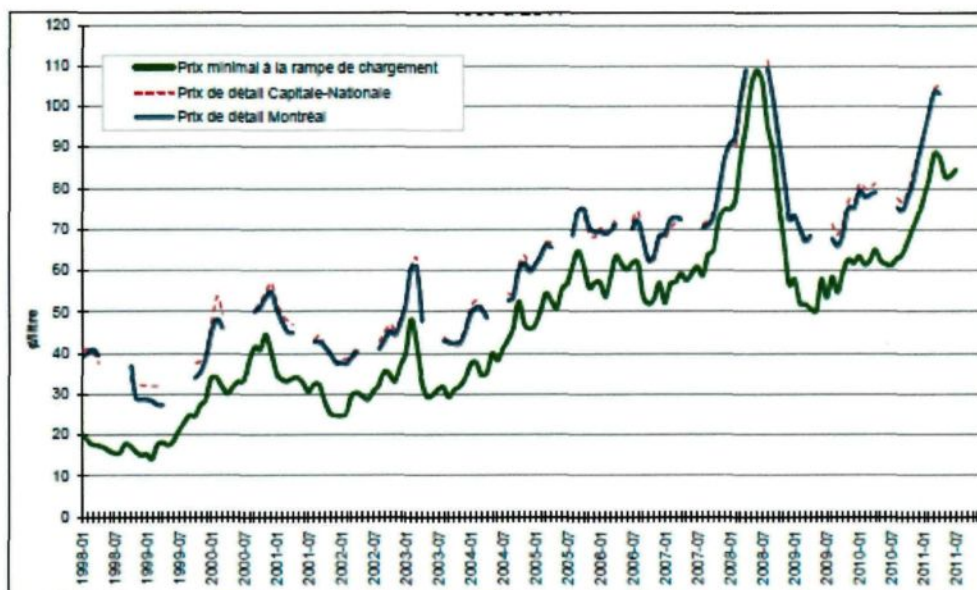
⁵⁵ <http://www.hearthnhome.com/downloads/brochures/HF60.PDF>

⁵⁶ <http://www.psg-distribution.com/produit.aspx?Categold=28&Id=542&Page=spec>

5.5 Comparaison économique théorique

Puisqu'au niveau énergétique, 9,3 litres de mazout équivalent à un sac de granulés de bois, leurs coûts peuvent être comparés. Pour ce faire, il faut d'abord définir à quel moment on fait la comparaison, car les deux sources d'énergie ont subi d'importantes variations de prix au cours des dernières années, comme le démontre la figure 34. Par exemple, le prix de détail pour Montréal et Québec est passé de 0,40 \$ le litre en janvier 1998 à plus de 1,00 \$ en janvier 2008.

Figure 34 - Prix du mazout léger (données mensuelles) Régions de Montréal et de la Capitale-Nationale de 1998 à 2011



Source : Régie de l'énergie, 2011, http://www.regie-energie.qc.ca/energie/archives/graphiques/mazout_graph_historique2011.pdf

Pour l'étude comparative de coût, les trois premiers mois des années 2008 à 2011 seront considérés, et ce, pour trois raisons. Tout d'abord, c'est à ce moment que les besoins énergétiques sont les plus grands. Ensuite, c'est la façon de calculer du chercheur Jean Baribeau de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec qui, lors du Symposium sur la biomasse forestière à Gatineau en avril 2008, a présenté un tableau comparatif entre les différentes sources d'énergie pour le chauffage (voir annexe 5). Finalement, ces mois correspondent à la période d'échantillonnage de la présente étude comparative pratique qui sera exposée au prochain chapitre.

Le tableau 11 rapporte le prix du mazout pour les trois premiers mois des années 2008 à 2011. Le prix moyen sera utilisé pour établir la comparaison avec le granulé de bois.

Tableau 11 - Prix du mazout au Saguenay-Lac-Saint-Jean de 2008 à 2011

Année	Janvier	Février	Mars	Prix moyen
2008	89,11	90,10	100,2	93,15
2009	72,45	68,28	66,82	69,18
2010	78,00	77 ,6	78,9	78,17
2011	90,2	96,00	100,7	95,63

Source : Régie de l'énergie du Québec, Prix calculés par Stéphan Tremblay (voir annexe 4)

5.6 Prix du granulé de bois

Pour le granulé de bois, le sac de 18,2 kg a lui aussi subi certaines variations de prix, et ce, principalement en 2009 où il y a eu pénurie. Deux raisons expliquent ce phénomène. Tout d'abord, la fermeture de plusieurs scieries au Québec en raison de la crise forestière a causé un manque de matière première (planure). Ensuite, la mise en place d'un avantage fiscal lors de l'achat d'un système de chauffage à granulés de bois aux États-Unis a créé une forte demande qui a occasionné l'émergence de nouvelles usines partout en Amérique.

Le tableau 12 rapporte les prix notés pour le sac de 18,2 kg à Alma, au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Dès février 2011, certaines quincailleries vendaient leurs sacs 4,09 \$. Les prix moyens ayant diminué depuis 2008, on peut penser qu'en 2012, les prix pourraient être sous la barre des 4,00 \$.

Tableau 12 - Prix moyen du sac de 18,2 kg de granulés de bois (en \$)

Année	Prix moyen
2008	3,85 \$
2009	5,00 \$
2010	5,00 \$
2011	4,34 \$

Source : Prix des quincailleries de la ville d'Alma, au Saguenay-Lac-Saint-Jean

Le tableau 13 compare les prix de 9,3 litres de mazout et un sac de granulés. Y est inscrite aussi la différence de prix entre les deux sources d'énergie et le pourcentage d'économie pour le même contenu énergétique.

Tableau 13 - Comparaison du coût par rapport à la même quantité d'énergie

Année	Prix du litre de mazout en cent	Prix du sac de granulés de bois	Prix de 9,3 litres de mazout	Différence de prix ⁵⁷	Pourcentage d'économie
2008	93,15	3,85 \$	8,66 \$	4,81 \$	56 %
2009	69,18	5,00 \$	6,43 \$	1,43 \$	22 %
2010	78,17	5,00 \$	7,27 \$	2,44 \$	31 %
2011	95,63	4,34 \$	8,89 \$	4,55 \$	51 %
Moyenne	84,03	4,54 \$	7,81 \$	3,28 \$	42 %

Selon les prix aux distributeurs autorisés de Granules LG diffusés en juillet 2011, l'hypothèse que le sac soit de moins de 4,00 \$ en 2012 est fort plausible. En admettant que le prix du mazout soit le même qu'à l'hiver 2011, soit 95,63 cents, on obtiendrait une économie de 55 %.

De plus, en tenant compte du taux d'efficacité des systèmes de chauffage, il serait possible d'augmenter les économies de 10 %. Par exemple, ce serait le cas avec certaines bouilloires à granulés de bois pouvant atteindre des taux d'efficacité de plus de 90 %⁵⁸. Dans l'hypothèse que le sac de 18,2 kg de granulés de bois serait à 4,00 \$ et que le prix du litre de mazout serait le même qu'à l'hiver 2011, le

⁵⁷ Différence de prix pour la même quantité de pouvoir calorifique entre le mazout et le granulé de bois, soit 358,7 MJ (un sac de granulés de bois de 18,2 kg)

⁵⁸ <http://www.hearthnhome.com/downloads/brochures/HF60.PDF>

pourcentage d'économie pour le passage du mazout vers le granulé pourrait atteindre 60 %⁵⁹.

5.7 Émissions de GES pour le mazout

Tel que vu au tableau 10, le facteur d'émission de CO₂éq du mazout léger est de 2,84 kg, ce qui veut dire que chaque 352 litres de combustion de mazout, émet une tonne de GES⁶⁰. À noter qu'il n'est pas question ici d'analyse de cycle de vie (ACV) puisque les éléments tels que l'exploration pétrolière, l'extraction, la transformation et le transport ne sont pas considérés dans les données du ministère des Ressources naturelles Canada.

5.8 Émissions de GES pour le granulé de bois

Le protocole de Kyoto, tout comme l'Inventaire canadien des gaz à effet de serre, 1990-2002⁶¹, considère la combustion du bois comme neutre en matière d'émissions de GES. Cela est basé sur le fait que lorsque la forêt pousse, les arbres absorbent le CO₂. Lorsque l'on brûle ces mêmes arbres sous forme de combustible ou autre, le gaz absorbé durant la croissance de l'arbre est libéré, d'où l'expression carbone-neutre. Bien qu'il y ait émissions de CH₄ et de N₂O lors

⁵⁹ 4 \$ moins 10 % d'efficacité pour la bouilloire = 3,60 \$ pour un sac de granulés versus 8,89 \$ pour le mazout.

⁶⁰ 1 tonne = 1000kg. Ainsi 1000 kg sur 2.84 kg par litre = 352,11 litres.

⁶¹Annexe 7: facteurs d'émissions

de la combustion, ces dernières sont considérées comme négligeables⁶². C'est dans cette optique que le gouvernement du Québec, dans sa stratégie de réduction d'émissions de GES, offre des programmes incitatifs pour convertir des systèmes commerciaux au mazout à la biomasse forestière⁶³.

Pour calculer les réductions d'émissions de GES, il suffit de quantifier, par rapport à une année de référence, les émissions du chauffage au mazout et de les considérer comme annulées grâce à l'utilisation de la biomasse. Ainsi, un propriétaire réduit les émissions de GES d'une tonne en équivalent CO₂ chaque fois qu'au lieu de consommer 352 litres de mazout, il utilise de la biomasse⁶⁴.

5.9 Bilan énergétique et bilan GES

Les données d'émission de GES pour le mazout ne tiennent pas compte des émissions produites pour des éléments tels que l'exploration pétrolière, l'extraction, la transformation et le transport. Il en est de même lorsque l'on avance que l'utilisation de granulés de bois est neutre en matière de GES. Dans les faits, puisque le granulé est du bois transformé, il y a des émissions liées aux opérations de transport de la matière première et de granulation à l'usine. Cette façon de

⁶² Les émissions de CH₄ et de N₂O provenant de la combustion ou de la décomposition de la biomasse doivent, quant à elles, être incluses dans le registre national des GES.

⁶³ Programme d'aide à l'utilisation de la biomasse forestière pour le chauffage. Agence d'efficacité énergétique du Québec.

⁶⁴ 1 tonne = 1000kg. Ainsi 1000 kg sur 2.84 kg par litre = 352,11 litres

considérer les émissions à toutes les étapes de production est en fait une approche d'analyse de cycle de vie (ACV).

Il est possible d'obtenir ce genre d'information pour certaines formes d'énergie à partir de la banque de données de GHGenius. Selon les données fournies par cette organisation, un gigajoule de mazout émet 90 561 g de CO₂ éq⁶⁵. Si l'on ramène ce chiffre en CO₂ éq par litre de mazout, on obtient 3,48 kg⁶⁶ par litre, comparativement à 2,84 kg pour la combustion. Ainsi, pour la production d'un litre de mazout, avant même d'être brûlé, émet 0,64 kg de CO₂éq, et ce, sans considérer le transport entre la raffinerie et l'utilisateur final.

En ce qui a trait au bilan GES du granulé de bois, il est difficile pour le moment d'obtenir ce genre d'informations. Grâce à la collaboration de M. Ken St-Gelais, contrôleur chez Granules LG de Saint-Félicien, il a été possible de faire un bilan de GES pour le biocombustible qui nous intéresse. Un ratio énergétique, c'est-à-dire la quantité d'énergie nécessaire pour produire le granulé de bois versus l'énergie que cela pourra dégager, a été établi. Le tableau 14 fait le résumé du bilan énergétique du granulé de bois de l'entreprise.

⁶⁵ GHGenius Feedstock, Power, Fuels, Fertilizers and Matériaux, 2006.

⁶⁶ À partir de la donnée du tableau 10, on considère que le contenu énergétique est de 38,68 GJ/mètre cube. Ce qui signifie 0,03868 GJ/litre. Donc un Gigajoule est l'équivalent de 25,8 litres. Si 28,8 litres émet 90 kg de CO₂ éq., un litre émet 3,48 kg

Les chiffres de l'année de référence indiquaient une production de 68 000 tonnes de granulés de bois. Pour en connaître le potentiel calorifique, le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des granulés obtenu par un laboratoire indépendant a été utilisé. La valeur du PCI est de 8 500 Btu/lb, soit un équivalent de 19.5 GJ/Tm. Le potentiel énergétique est donc de 1 326 000 GJ ou encore 368 333 MWh.

Pour connaître les émissions de GES pour cette quantité d'énergie, les émissions pour produire ces 68 000 tonnes de granulés de bois ont été considérées. Ainsi, 40 000 litres de mazout léger, 33 899 litres de diesel, 6 031 kWh d'électricité et 900 000 tonnes de biomasse ont été nécessaires à l'usine. La consommation énergétique à l'usine pour la production de granulés pendant l'année de référence a donc été de 38 060 GJ, soit un peu plus de 10 500 MWh. À cela s'ajoute l'énergie nécessaire pour le transport de la matière première issue des scieries avoisinantes, c'est-à-dire 140 000 litres de diesel.

La somme de toutes ces quantités d'énergie indique que 43 473 GJ d'énergie ont été nécessaires pour produire 68 000 tonnes de granulés de bois ayant un contenu énergétique de 1 326 000 GJ. Cela fait donc un ratio énergétique de 3,28 %. En d'autres termes, pour produire 100 unités d'énergie, seulement 3,28 unités sont requises. Calculée sur la base de la consommation énergétique, la production des 68 000 tonnes de granulés a donc émis 291 tonnes de CO₂éq.

Les émissions mobiles indirectes dues au transport de matière première représentent 15 tonnes de CO₂éq. Les émissions totales de GES étant de 306 tonnes de CO₂éq pour l'année 2008-2009, le rapport sur la production est ainsi de 4,5 kg de CO₂éq par tonne de granulés, soit 0,08 kg CO₂ par sac de 18,2 kg de granulés⁶⁷. En rapportant les émissions au potentiel énergétique, on obtient 230 g de CO₂éq par GJ.

Tableau 14 - Bilan énergétique et de GES de Granules LG de Saint-Félicien

Combustion à l'usine			Bilan énergétique		Bilan GES
	quantité	unité	GJ	kWh	CO2eq (Kg)
huile légère	40 000	litre	1 540	427 889	113 606
diesel	33 899	litre	1 311	364 226	93 681
propane	27 706	litre	637	177 010	42 500
électricité	6 031 800	kWh	23 812	6 614 400	36 191
biomasse	900 000	kg à 12% _{Hr}	10 679	2 966 389	
Total			37 980	10 549 914	285 978
Combustion du transport de matière première					
Transport	140 000	litre	5 415	1 504 222	386 893
Combustion total			43 395	12 054 136	672 871
Production	68 000	tonne	1 326 000	368 230 200	0

Sources : Ken St-Gelais, 2010, contrôleur chez Granules LG de Saint-Félicien

⁶⁷ Une tonne = 55 sacs de 18,2 kg. Donc 4,5 kg sur 55= 0,08 kg de CO₂ u

5.9.1 Impact GES du transport

Il faut aussi analyser l'impact du transport en ce qui concerne les émissions de GES. La consommation de carburant pour le transport est établie sur la consommation moyenne d'un camion-remorque qui est d'environ 60 litres/100km⁶⁸ et de sa capacité de chargement établie ici à 20 tonnes. Donc, le déplacement d'une tonne de granulés nécessite une consommation de 3 litres/100km. Ainsi, le facteur d'émission selon GHGenius étant de 3,5 kg par litre de diesel, lorsqu'un camion livre à 100 km de l'usine, cela produit 10,5 kg de CO₂éq par tonne de granulés. Considérant que la production d'une tonne n'a émis que 4,5 kg de CO₂éq, on peut conclure que le transport est l'aspect ayant le plus d'impact sur les émissions, d'où la pertinence de consommer du granulé de bois produit localement.

⁶⁸ Données fournies par Granules LG

CHAPITRE 6

ÉTUDE COMPARATIVE PRATIQUE

Afin de vérifier la véracité des calculs théoriques et économiques, soit qu'un sac de granulés de bois de 18,2 kg équivaut à 9,2 litres de mazout, une étude terrain a été réalisée au cours de l'hiver 2009. Pour ce faire, cinq maisons utilisant le mazout ont été sélectionnées et leur système de chauffage a été converti en un système à granulés de bois.

En plus de comparer concrètement les deux sources d'énergie, l'objectif était aussi de vérifier la convivialité d'utilisation des systèmes à granulés. L'une des tâches importantes a été de mesurer la consommation de granulés versus la consommation au mazout des trois années précédentes, et ce, en considérant les températures extérieures.

Pour convertir une maison chauffant au mazout, la pratique courante est de sortir complètement la fournaise pour la remplacer par une autre conçue pour

brûler du granulé de bois. Il existe cependant une autre approche ayant été largement pratiquée en Europe. Celle-ci consiste à substituer seulement le brûleur de la fournaise sans avoir à changer tout l'équipement et donc, éviter d'en fabriquer une autre. Cette technique nécessite moins de matériel et, par le fait même, à un coût moindre. Cette méthode a donc été choisie pour l'étude comparative.

L'opération centrale consistait à installer un brûleur à granulés de bois de la compagnie ULMA de Suède, en remplacement de celui d'origine au mazout. Considéré comme une vitrine technologique, le projet "Implantation de la filière granulé de bois" PPEE-08-09-015 a été financé à 75 % par l'Agence d'efficacité énergétique du Québec (AEE) avec l'obligation de pratiquer des mesures rigoureuses de mesurage.

Dans ce chapitre, les différentes étapes de prises de données de consommation ramenées sur une base quotidienne seront exposées. Aussi, comme la comparaison des données de consommation s'étale sur trois hivers et qu'il y a des variations au niveau de la température, cela oblige à considérer l'intensité de froid afin de permettre de rapporter les informations de consommation sur un même dénominateur.

L'autre aspect moins quantifiable de la recherche touche la convivialité d'utilisation de la filière énergétique, plus spécifiquement sur les aspects de l'entreposage et du ravitaillement. Pour ce faire, il a fallu installer des systèmes d'alimentation automatisés de granulés de bois, et des réservoirs pouvant être ravitaillés par un camion souffleur mis en place et expérimenté dans le cadre de ce projet. Cette partie de la vitrine technologique ne sera cependant pas traitée au niveau méthodologique, mais seulement commentée.

6.1 Méthodologie de mesurage

La première étape a été de sélectionner cinq maisons dont les propriétaires avaient gardé leurs factures de mazout des trois années précédentes. Aussi, au cours de ces dernières années, il ne devait pas y avoir eu de modifications à la structure de leur bâtiment ou de changements dans leurs habitudes de vie qui auraient pu faire varier les données de consommation. Suite à cette sélection, l'installation des brûleurs à granulés de bois a été effectuée. Il restait à établir une méthodologie permettant de comparer les deux sources d'énergie sur un même dénominateur.

La comparaison des données de consommation pour chacune des sources d'énergie pour des hivers entiers aurait pu être une façon de faire. Toutefois, cette approche était impossible puisque les appareils de chauffage à granulés ne sont

entrés en fonction qu'en janvier. Des prises de données quotidiennes ont donc été utilisées. Pour le granulé de bois, il suffisait de calculer quotidiennement la quantité utilisée de sacs de 18,2 kg, alors que pour établir la consommation de mazout des cinq maisons, la sélection de périodes de temps spécifiques a été nécessaire.

Des périodes d'échantillonnage basées entre deux remplissages du réservoir de mazout ont été utilisées afin de comparer des périodes de l'année similaires à la période de chauffage aux granulés de bois soit janvier, février et mars. À partir de la facture du livreur de mazout et en partant du principe que le livreur remplit complètement le réservoir, il est possible de calculer le nombre exact de litres consommés par la fournaise sur une période donnée et donc, de calculer une moyenne quotidienne.

Les résultats de consommation de mazout sont exprimés en litres par jour. Par exemple, si les factures de mazout indiquent des remplissages de 500 litres le 15 janvier, 500 litres le 15 février et 500 litres le 15 mars, on obtient une consommation de 1 000 litres du 15 janvier au 15 mars, soit pour 59 jours, donc une moyenne quotidienne de 16,9 litres. Cette possibilité d'établir une moyenne quotidienne pour une période précise pour la consommation au mazout permettra la comparaison avec celle du chauffage aux granulés de bois pour lequel l'unité de mesure utilisée a été le sac de 18,2 kg qui se vend sur le marché.

6.2 Historique de ravitaillement de mazout en litres

Les données recueillies pour chacune des maisons sont rassemblées dans les cinq prochains tableaux. Dans les colonnes des mois de chauffage au mazout, le premier chiffre indique le jour du mois et le deuxième, le nombre de litres de mazout livré inscrit sur la facture. La dernière colonne indique la quantité totale de litres, mais cette donnée est à titre informatif seulement puisqu'elle ne pourra servir dans la comparaison avec le granulé. Toutefois, elle servira à établir la quantité de réduction de GES.

Tableau 15 - Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 1

	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Total
2004-2005	27 : 134		17 : 386	25 : 611		4 : 489	20 : 299	1 919
2005-2006			6 : 386	16 : 531	27 : 516		10 : 271	1 705
2006-2007			11 : 515	19 : 460	26 : 657		11 : 376	2 010
2007-2008	17 : 87		17 : 433	30 : 533		14 : 545		1 601

Tableau 16 - Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 2

	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Total
2004-2005	16: 887,6			16: 645,3	20 : 672	18: 712,7	16: 696,1	18: 730,9		4345
2005-2006	17: 797,3			24 : 701,4	22 : 548,9	17 : 607,3	17: 702,2	24: 742,4		4010
2006-2007		19 : 778,4		27 : 741,4		3 : 690,9	1 ^{er} : 756,4		10: 803,1	3770
2007-2008			18 : 703,4		4 : 708,2	3 : 700,4	20: 475,5	25: 781		3369

Tableau 17 - Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 3

	Sept.	Oct	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Total
2006-2007			3 : 535			2 : 541		3 : 450	1 526
2007-2008				4 : 537		4 : 449	14 : 589		1 575
2008-2009			28 : 556		14 : 534	24 : 487			1 587

Tableau 18 - Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 4

	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Total
2005-2006					10 : 535,6			536
2006-2007				31 : 527,9				528
2007-2008			14 : 455,4					455
2008-2009		3 : 575						575

Tableau 19 - Historique de ravitaillement de mazout en litres - Maison 5

	Août	Sept	Oct.	No	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Total
2004-2005	29 : 438					16 : 461		29 : 516	415
2005-2006			5 : 166			29 : 479		28 : 563	1 138
2006-2007					19 : 474		19 : 494		924

6.3 Moyenne de consommation annuelle et passée de mazout

Le tableau 20 rapporte la consommation totale de mazout pour chaque année et la consommation moyenne annuelle pour chaque maison, données obtenues à partir des historiques de ravitaillement (tableaux 15 à 19). Il se brûle environ de 1 500 litres annuellement. Pour la maison 2, la consommation est nettement supérieure puisque celle-ci a un appartement au premier étage. Cependant, on constate un écart de presque 1 000 litres entre l'hiver 2004 et l'hiver 2007. Finalement, la faible consommation de la maison 4 s'explique par le fait qu'elle est en mode biénergie et chauffe donc régulièrement à l'électricité.

Tableau 20 - Consommation moyenne annuelle de mazout en litres

<i>Maison 1</i>	Consommation en litres
2004-2005	1 919
2005-2006	1 705
2006-2007	2 010
2007-2008	1 601
Consommation moyenne annuelle	1 809
<i>Maison 2</i>	
2004-2005	4 345
2005-2006	4 100
2006-2007	3 770
2007-2008	3 368
Consommation moyenne annuelle	3 896
<i>Maison 3</i>	
2006-2007	1 526
2007-2008	1 575
2008-2009	1 587
Consommation moyenne annuelle	1 563
<i>Maison 4</i>	
2005-2006	536
2006-2007	528
2007-2008	455
2008-2009	575
Consommation moyenne annuelle	523
<i>Maison 5</i>	
2004-2005	1 415
2005-2006	1 138
2006-2007	924
Consommation moyenne annuelle	1 159

6.4 Température extérieure

Dans la mesure où les échantillonnages sont pris à des moments différents, la température extérieure a une influence sur la consommation énergétique. Plus il fait froid et plus les besoins énergétiques sont grands. Les degrés-jours de chauffage (DJC) servent d'outil de mesure. Comme nous l'avons vu au chapitre 1, les DJC sont utilisés principalement pour estimer les besoins de chauffage des bâtiments. On compte un DJC pour chaque degré dont la température moyenne quotidienne est inférieure à 18°C.

Ce type d'information est accessible par le biais des stations météorologiques d'Environnement Canada qui en possède plusieurs à travers le pays. La plus près des cinq maisons du projet est celle de Mistouk (Alma), mais en raison de ses données incomplètes, celles de la station de l'aéroport de Roberval qui est à environ 40 km plus loin ont aussi été utilisées.

Le tableau 28 dresse un portrait de l'intensité de froid des quatre années considérées dans cette recherche. En plus d'indiquer les DJC totaux pour chaque mois, la température moyenne est aussi rapportée. À l'hiver 2009, année du projet de conversion aux granulés de bois, le mois de janvier s'est avéré de loin le plus froid des trois dernières années avec 1 175 DJC. Les mois de février et mars ont

par contre été plus doux que les deux années précédentes, avec respectivement 835 et 795 DJC.

Tableau 21 - Température moyenne mensuelle et degrés-jours de chauffage totaux de janvier à avril de 2006 à 2009, Aéroport de Roberval

	Janvier	Février	Mars	Avril
2006 Mazout	-11,4 °C 910 DJC	-14,3 °C 904 DJC	-3,6 °C 668 DJC	4 °C 421 DJC
2007 Mazout	-13 °C 960 DJC	-15,9 °C 949 DJC	-8,4 °C 819 DJC	2,8 °C 457 DJC
2008 Mazout	-12,6 °C 949 DJC	-13,7 °C 919 DJC	-10 °C 870 DJC	4,4 °C 408 DJC
2009 Granulé de bois	-20 °C 1 175 DJC	-11,8 °C 835 DJC	-7,6 °C 795 DJC	3,5 °C 434 DJC

Source : Environnement Canada http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/dailydata_f.html

6.5 Échantillonnage mazout

Les tableaux 22 à 26 établissent des données afin de comparer correctement les consommations de mazout en considérant notamment la température extérieure. Plutôt que d'avoir une température moyenne mensuelle, on obtient une moyenne quotidienne de DJC de la période d'échantillonnage.

La première colonne indique le nombre de jours de l'échantillon, soit le nombre de jours entre deux remplissages de mazout. La deuxième colonne indique la somme des DJC pour le nombre de jours d'échantillonnage. La troisième établit la

moyenne quotidienne de DJC pour la période, moyenne obtenue en divisant le nombre de DJC total (colonne 2) par le nombre de jours de l'échantillonnage (colonne 1). La quatrième colonne présente la quantité de litres entre deux remplissages de réservoir de mazout. En divisant ce nombre par le nombre de jours de la colonne 1, on obtient la moyenne quotidienne de consommation de mazout pour l'échantillonnage.

6.5.1 Échantillonnage mazout - Maison 1

Le tableau 22 indique que pour l'échantillon du 19 janvier au 26 février 2007, la moyenne quotidienne de DJC était à 36,81, occasionnant une forte consommation de mazout à 17,76 litres comparativement à une moyenne quotidienne de 29,74 DJC et une consommation de seulement 12,31 litres par jour pour environ la même période, l'année précédente.

Tableau 22 - Échantillonnage mazout - Maison 1

Période	Nombre de jours	DJC total	Moyenne DJC/jour	Nombre de litres par période	de par	Nombre de litres par jour
Du 26 janvier au 4 mars 2005	38	1 171	30,82	489		12,87
Du 16 janvier au 27 février 2006	42	1 249	29,74	517		12,31
Du 19 janvier au 26 février 2007	37	1 362	36,81	657		17,76
Du 30 janvier au 14 mars 2008	42	1 357	32,31	545		12,98
Moyenne			32,42			13,98

6.5.2 Échantillonnage mazout Maison 2

Les échantillonnages de la deuxième maison ne présentent pas de grands écarts de moyenne quotidienne de DJC. Cela pourrait être dû au fait que le nombre de jours d'échantillonnage a pratiquement doublé. Cette maison est beaucoup plus énergivore avec une moyenne de 23,83 litres de mazout par jour alors que la première maison en consommait en moyenne 10 litres de moins.

Tableau 23 - Échantillonnage mazout - Maison 2

Période	Nombre de jours	DJC total	Moyenne DJC/jour	Nombre de litres par période	Nombre de litres par jour
Du 20 décembre 2004 au 18 mars 2005	87	2 840	32,64	2 138	24,57
Du 22 décembre 2005 au 24 mars 2006	91	2 666	29,30	2 051	22,54
Du 3 janvier au 10 avril 2007	96	2 735	28,49	2 295	23,91
Du 4 décembre 2007 au 25 mars 2008	110	3 413	31,03	2 674	24,31
Moyenne		2 914	30,36		23,83

6.5.3 Échantillonnage mazout - Maison 3

Pour établir les résultats des échantillonnages de la maison 3, seulement trois situations où les données de consommation étaient crédibles étaient possibles. Malgré cela, on retrouve une importante différence entre les moyennes du nombre de litres par jour pour deux échantillonnages atteignant 11,6 litres et 11,8 litres, alors que le troisième est à 15,5 litres. Cette forte consommation journalière est pourtant associée à la moyenne de DCJ la moins élevée, ce qui démontre une faible fiabilité de cette information. Il pourrait donc être scientifiquement hasardeux de considérer cette donnée. En l'éliminant, la moyenne est de 11,6 litres par jour au lieu de 13 litres par jour.

Tableau 24 - Échantillonnage mazout - Maison 3

Période	Nombre de jours	DJC total	Moyenne DJC/jour	Nombre de litres par période	Nombre de litres par jour
Du 4 février 2008 au 14 mars 2008	38	1 208	32	589	15,50
Du 28 novembre 2008 au 14 janvier 2009	46	1 517	33	534	11,61
Du 14 janvier 2009 au 24 février 2009	41	1 419	34	487	11,88
Moyenne			33		12,99

6.5.4 Échantillonnage mazout Maison 4

Le fait qu'il n'y ait eu qu'un seul remplissage annuellement pour les quatre années antérieures a rendu impossible l'isolement d'une période précise durant la saison de chauffage. De plus, la fournaise étant bi-énergie (électrique et mazout), le mode mazout fonctionnait seulement lorsque la température était en dessous de -14°C . À partir des informations horaires d'Environnement Canada, un calcul a été effectué avec le nombre d'heures où la température était plus froide que -14°C entre chaque remplissage des trois dernières années. De cette façon, il a été possible d'avoir un portrait de consommation en divisant le nombre d'heures de fonctionnement par 24, et ce, dans le but d'établir une statistique équivalente par jour. Puisque la même méthode a été appliquée avec l'échantillon de granulés, la

comparaison des données était réalisable. Pour les mêmes raisons que la maison 3, il a été impossible de considérer les degrés-jours de chauffage sur un échantillonnage (voir annexe 2 pour le détail des heures).

Tableau 25 - Échantillonnage mazout – Maison 4

Période	Nombre d'heures sous -15 °C	Nombre de jours équivalents	DJC total	Moyenne DJC/jour	Nombre de litres par période	Nombre de litres par jour
Du 27 janvier 2005 au 10 février 2006	865	36,00			535	14,86
Du 10 février 2006 au 31 janvier 2007	754	31,40			528	16,82
Du 1 ^{er} février au 14 décembre 2007	672	28,00			455	16,25
Du 15 décembre 2007 au 3 novembre 2008	826	34,40			575	16,71
Moyenne						16,16

6.5.5 Échantillonnage mazout - Maison 5

Certains problèmes se sont posés lors de la conversion de la maison 5. La fournaise avait toujours fonctionné en mode bi-énergie et le système au mazout ne fonctionnait que lorsque la température extérieure était plus froide que -12 °C. Cependant, suite à la conversion aux granulés, la partie au chauffage électrique a cessé de fonctionner.

La conséquence n'était pas de chauffer la maison aux granulés, mais plutôt d'établir une autre méthodologie pour cette situation particulière. La mesure pour le chauffage aux granulés s'est donc faite en mode temps plein, alors que les échantillonnages mazout étaient en mode bi-énergie. Une approche similaire à celle de la maison 4 a alors été utilisée en calculant le nombre d'heures de fonctionnement lorsque la température devenait plus froide que -12°C . C'est à cette température que la fournaise fonctionnait en mode mazout (voir annexe 3 pour la ventilation des heures).

Tableau 26 - Échantillonnage mazout - Maison 5

Période d'échantillonnage	Nombre d'heures sous -12°C	Nombre de jours équivalents	Moyenne d'heures par jour sous -12°C	DJC total	Nombre de litres par période	Nombre de litres par jour
Du 16 janvier au 29 mars 2006	653	27,20	9		516	18,97
Du 29 janvier au 28 mars 2007	771	32,10	13		567	17,66
Du 19 décembre 2007 au 19 février 2008	769	32,00	12,6		494	15,43
Moyenne						17,36

6.6 Moyenne quotidienne des échantillons au mazout

Le tableau 27 indique la moyenne de consommation quotidienne des échantillons, et ce, pour chaque maison. Afin d'avoir le même dénominateur pour comparer les informations sur le plan énergétique, le nombre de litres quotidien a été converti en Mégajoules (MJ). Considérant que dans un litre de mazout il y a 38,2 MJ, le tableau 27 indique donc les chiffres de consommation énergétique qui serviront de comparaison avec ceux du granulé de bois.

Tableau 27 - Moyenne quotidienne des échantillons au mazout

Maison	Litres de mazout/jour	MJ/jour
1	13,98	535
2	23,83	910
3	12,99	497
4	16,16	617
5	17,36	660

6.7 Consommation quotidienne de granulés de bois

Obtenir les données de consommation de granulés de bois est beaucoup plus simple que pour le mazout. Dans la mesure où les plus petits réservoirs de granulés contenaient 13 sacs, il a suffi de faire le plein à intervalles de deux jours

et de calculer le nombre de sacs consommés. Tel qu'établi au chapitre 6, le contenu énergétique d'une livre de granulés est de 8 500 BTU. Convertie en MJ, cela fait 358,7 MJ. Voici donc, pour chaque maison, la consommation de granulés pendant la durée de l'étude.

Pour la maison 1, les prises de données ont été effectuées entre le 4 février 10h00 et le 12 février 21h00. À cause des difficultés techniques, l'échantillon de temps a été plutôt court. Durant ces huit jours et demi, le système a brûlé 18 sacs, ce qui donne une moyenne quotidienne de 2,11 sacs.

Pour la maison 2, la période d'échantillonnage a été plus longue, avec trois mois de prises de données. Du 6 janvier au 6 avril (90 jours), le système a consommé 260 sacs de granulés pour une moyenne quotidienne de 2,88 sacs. Le fait que l'échantillonnage s'étale aussi tard dans la saison diminue la moyenne quotidienne. Ainsi, par temps très froid en janvier, il est arrivé régulièrement que la consommation quotidienne atteigne 5 sacs. Il faut aussi se rappeler que cette maison est la plus grande car elle possède un loyer à l'étage.

En raison des difficultés de sélection de participants à l'étude, le brûleur à granulés de la maison 3 n'a été fonctionnel qu'à partir du 24 février puisque son installation a été retardée. Cette période de l'année était malheureusement moins

représentative de l'ensemble de l'hiver. La fournaise a brûlé 14 sacs de granulés en 14 jours, entre le 24 février et le 10 mars, pour une moyenne d'un sac par jour.

Tel que vu précédemment, des méthodes de calcul différentes ont été utilisées pour les maisons 4 et 5. Du 13 janvier au 11 avril, le système de la maison 4 a consommé 61 sacs. Pour cette période, il a fait plus froid que -15°C pendant 685 heures, soit sur une base de 24 heures, 28,54 jours équivalents, ce qui fait qu'avec une consommation de 61 sacs, la moyenne quotidienne simulée est de 2,14 sacs.

Pour la maison 5, les 23 premiers jours suivant l'installation ont toujours été plus froids que -12°C , rendant la situation comparable aux échantillons de mazout. Ainsi, du 20 janvier au 12 février, le système a consommé 42 sacs en 23 jours, pour une moyenne quotidienne de 1,83 sac. La moyenne de degrés-jours de chauffage a été de 36, ce qui est plus froid que la moyenne habituelle. Étant donné que l'échantillonnage de mazout est calculé sur une base d'heures de fonctionnement, il est donc impossible de faire des comparaisons.

6.8 Comparaison réelle

Il a été établi en début de chapitre qu'un sac de granulés de bois a théoriquement le même contenu énergétique que 9,3 litres de mazout. Avec les informations réelles prises sur le terrain, il est possible de vérifier si elles se

rapprochent du ratio 1 sac = 9,3 litres. Pour ce faire, les moyennes de consommation quotidienne des deux sources d'énergie seront rapportées sur un même dénominateur, soit 1 sac. Par exemple, si la consommation quotidienne de granulés est de 2 sacs par jour et que le mazout est de 20 litres, les données seront ramenées à un sac de granulés versus 10 litres de mazout, et ce, afin de pouvoir comparer avec le ratio de 1 sac = 9,3 litres.

Pour tenir compte de la différence de température, le pourcentage de différences de DJC entre les échantillons de mazout et ceux du granulé a été établi. Selon le cas, ce pourcentage a été ajouté ou réduit à la consommation de mazout, et ce, afin de maintenir le dénominateur d'un sac. Par exemple, si les échantillons de mazout avaient une moyenne quotidienne de 33 DJC et que celle du granulé était à 30 DJC, on obtiendrait une différence de 9 % plus froide pour le chauffage au mazout. En enlevant 9 % à la consommation de litres de mazout par jour, on rapporte les deux consommations à une température similaire, et ce, toujours sur un dénominateur d'un sac de granulés.

À la lumière des pourcentages de différence entre les résultats réels et le ratio théorique, les maisons 1 et 3, ont des écarts de presque 30 %. Comme mentionné précédemment, les résultats de la maison 3 manquent de précision et ne devraient pas être considérés. Bien que cette étude n'ait pas été réalisée en laboratoire, mais bien dans des maisons habitées, les résultats se rapprochent tout de même

du ratio théorique. En effet, lorsque l'on fait la moyenne des moyennes quotidiennes de consommation pour ensuite la ramener au dénominateur de 1 sac, on obtient un ratio de 8,7 litres par jour⁶⁹. Cela est seulement 6 % de moins que le rendement théorique de 9,3 litres par sac. Les tableaux 28 à 32 indiquent les résultats obtenus pour chaque maison.

Tableau 28 - Comparaison finale - Maison 1

	Mazout	Granulé
MJ/jour	535 MJ/jour	756,86 MJ/jour
Litres ou sacs/jour	13,98 litres/jour	2,11 sacs/jour
Ratio litre/sac	6,63 litres/jour	1 sac/jour
DJC/jour	32,32 DJC/jour	30,67 DJC/jour
Diff. % DJC	-5 % ⁷⁰	
Comparaison finale	6,58 litres/jour	1 sac/jour
% diff. avec ratio théorique ⁷¹	-29 %	

⁶⁹ $6,58 \text{ litres/jour} + 8,34 \text{ litres/jour} + 11,57 \text{ litres/jour} + 9,45 \text{ litres/jour} + 7,55 \text{ litres/jour} / 5 = 8,7 \text{ litres/jour}$

⁷⁰ $30,67 \text{ DJC} / 32,32 \text{ DJC} = 5 \%$ plus froid pour le mazout. Pour ramener le tout à 30,67 DJC, on réduit de 5 % la consommation de mazout.

⁷¹ 1 sac de granulés = 9,3 litres de mazout

Tableau 29 - Comparaison finale - Maison 2

	Mazout	Granulé
MJ/jour	910 MJ/jour	1033,06 MJ/jour
Litres ou sacs/jour	23,83 litres/jour	2,88 sacs/jour
Ratio litre/sac	8,26 litres/jour	1 sac/jour
DJC/jour	30,36 DJC/jour	31 DJC/jour
Diff. %	+1 %	
Comparaison finale	8,34 litres/jour	1 sac/jour
% diff. avec ratio théorique	-10 %	

Tableau 30 - Comparaison finale - Maison 3

	Mazout	Granulé
MJ/jour	497 MJ/jour	358,70 MJ/jour
Litres ou sacs/jour	13 litres/jour	1 sac/jour
Ratio litre/sac	13 litres/jour	1 sac/jour
DJC/jour	33 DJC/jour	29,3 DJC/jour
Diff. %	+11 %	
Comparaison finale	11,57 litres/jour	1 sac/jour
% diff. avec ratio théorique	+28 %	

Tableau 31 - Comparaison finale - Maison 4

	Mazout	Granulé
MJ/jour	660 MJ/jour	656.42 MJ/jour
Litres ou sacs/jour	17,3 litres/jour	1,83 sac/jour
Ratio litre/sac	9,45 litres/jour	1 sac/jour
DJC/jour	-----	-----
Diff. %	-----	-----
Comparaison finale	9,45 litres/jour	1 sac/jour
% diff. avec ratio théorique	+1,5 %	

Tableau 32 - Comparaison finale = Maison 5

	Mazout	Granulé
MJ/jour	616,9 MJ/jour	767.61 MJ/jour
Litres ou sacs/jour	16,15 litres/jour	2,14 sacs/jour
Ratio litre/sac	7,55 litres/jour	1 sac/jour
DJC/jour	-----	-----
Diff. %	-----	-----
Comparaison finale	7,55 litres/jour	1 sac/jour
% diff. avec ratio théorique	-19 %	

6.9 Comparaison économique réelle

À partir des données de consommation quotidienne réelles des deux sources d'énergie, les tableaux 33 à 37 établissent le coût de la consommation quotidienne du mazout et du granulé en fonction du prix pour les années 2008 à 2011. Par

exemple, pour la maison 1 (tableau 33), la colonne mazout/jour donne le prix à chaque année pour 14 litres/jour. La colonne granulé/jour indique aussi le prix pour chaque année, mais en fonction des variations de prix dans les quincailleries d'Alma. La quatrième colonne indique le pourcentage d'économie obtenu par le passage du mazout vers le granulé alors que la cinquième colonne est à titre indicatif seulement et ne fait que rappeler les pourcentages d'économie théorique obtenus précédemment à partir du contenu énergétique.

La comparaison des deux sources d'énergie met en évidence de grandes différences de prix. Deux variables importantes expliquent ces différences : d'abord, les résultats réels qui, comme on l'a vu précédemment, ont des écarts avec le ratio théorique, mais aussi les prix qui ont subi, selon les années, de fortes variations tant pour le mazout que pour le granulé de bois. Cependant, la moyenne globale des pourcentages d'économie est de 35 %⁷² par rapport à un ratio théorique de 42 %. Encore une fois, les résultats de l'étude sont cohérents avec la théorie.

⁷² 17 % + 33 % + 57 % + 41 % + 27 % = moyenne de 35 % d'économie.

Tableau 33 - Comparaison économique réelle - Maison 1

Année	Mazout/jour 14 litres	Granulé/jour 2,11 sacs	% d'économie	% d'économie théorique
2008	13,04 \$	8,12 \$	38 %	56 %
2009	9,68 \$	10,55 \$	-9 %	22 %
2010	10,94 \$	10,55 \$	4 %	31 %
2011	13,38 \$	9,16 \$	32 %	51 %
Moyenne	11,76 \$	9,60 \$	18 %	42 %

Tableau 34 - Comparaison économique réelle - Maison 2

Année	Mazout/jour 23,83 litres	Granulé/jour 2,88 sacs	% d'économie	% d'économie théorique
2008	22,19 \$	11,08 \$	50 %	56 %
2009	16,49 \$	14,40 \$	13 %	22 %
2010	18,62 \$	14,40 \$	22 %	31 %
2011	22,79 \$	12,49 \$	45 %	51 %
Moyenne	20,02 \$	13,09 \$	34 %	42 %

Tableau 35 - Comparaison économique réelle - Maison 3

Année	Mazout/jour 13 litres	Granulé/jour 1 sac	% d'économie	% d'économie théorique
2008	12,10 \$	3,85 \$	68 %	56 %
2009	9 \$	5 \$	44 %	22 %
2010	10,16 \$	5 \$	51 %	31 %
2011	12,43 \$	4,34 \$	65 %	51 %
Moyenne	8,70 \$	4,54 \$	48 %	42 %

Tableau 36 - Comparaison économique réelle - Maison 4

Année	Mazout/jour 17,3 litres	Granulé/jour 1,83 sac	% d'économie	% d'économie théorique
2008	16,11 \$	7,05 \$	56 %	56 %
2009	11,96 \$	9,15 \$	23 %	22 %
2010	13,52 \$	9,15 \$	32 %	31 %
2011	16,54 \$	7,94 \$	52 %	51 %
Moyenne	14,53 \$	8,32 \$	43 %	42 %

Tableau 37 - Comparaison économique réelle - Maison 5

Année	Mazout/jour 16,15 litres	Granulé/jour 2,14 sacs	% d'économie	% d'économie théorique
2008	15,04 \$	8,24 \$	45 %	56 %
2009	11,17 \$	10,70 \$	4 %	22 %
2010	12,62 \$	10,70 \$	15 %	31 %
2011	15,44 \$	9,29 \$	40 %	51 %
Moyenne	13,56 \$	9,73 \$	28 %	42 %

6.10 Émissions réelles de CO₂ du mazout

Tel que vu au chapitre 6.3, on considère la combustion du bois comme neutre en termes d'émissions de carbone. Ainsi, pour quantifier les réductions annuelles de GES du passage du mazout vers le granulé, il suffit de prendre la consommation moyenne annuelle de mazout et la multiplier par 2,84 kg de CO₂éq, valeur préalablement établie pour la combustion d'un litre de mazout (tableau 10).

Le tableau 38 indique les résultats pour chacune des maisons. La dernière colonne rapporte la même information quant aux émissions, à l'exception qu'elle est ramenée en tonnes. Ainsi, si les cinq maisons continuaient d'utiliser le système de chauffage à granulés de bois, il y aurait des réductions annuelles de 25 tonnes de GES.

Tableau 38 - Réductions de GES

Maison	Consommation moyenne annuelle	kg de CO₂éq	Tonnes de CO₂éq
1	1 809 litres	5 138	5,14
2	3 896 litres	11 065	11,07
3	1 563 litres	4 439	4,44
4	523 litres	1 485	1,49
5	1 159 litres	3 292	3,29

6.11 Comparaison avec l'électricité

Au chapitre 2, la question s'est posée à savoir s'il était pertinent de chauffer nos bâtiments à partir de l'hydroélectricité. La réflexion fut axée sur les utilisations et opportunités autres que celle du chauffage. Ensuite, l'expérience terrain a amené à comparer le granulé de bois et le mazout. Dans cette même perspective et peu importe les résultats du chapitre 2, il demeure intéressant de comparer l'électricité, et ce, tant sur les plans économique que d'émission de GES.

6.11.1 Le prix de l'électricité

Lorsque l'on analyse une facture énergétique d'Hydro-Québec, on constate différents niveaux de tarification selon la consommation. Pour établir un prix de comparaison, nous avons calculé pour une maison comparable à nos maisons dans l'expérience terrain, le nombre de kilowattheures (kWh) et le coût par année entre 2008 à 2011⁷³. Ainsi, malgré de faibles variations de prix, c'est à 7 cents le kWh que ce fera la comparaison avec le mazout et le granulé.

⁷³ Voir annexe 8 pour échantillons de factures.

6.11.2 Pourcentage d'efficacité

Tel que stipulé au chapitre 5.4, lorsque l'on compare économiquement deux types d'énergie, on peut se référer au contenu énergétique. Il faut cependant porter attention au niveau d'efficacité lors de l'utilisation finale. Dans le cas du mazout et du granulé de bois, les systèmes de chauffage ont des taux d'efficacité de conversion en chaleur de l'ordre de 80 %. Puisque les taux sont similaires, cette donnée n'avait pas été considérée.

Par contre, avec l'électricité, toute l'énergie est généralement transformée en chaleur. On parle alors de 100 % de facteur d'efficacité⁷⁴. Il a été établi qu'un sac de granules (358,7 MJ) est l'équivalent énergétique de 9,3 litres de mazout. Par contre, la consommation de 358,7 MJ d'énergie donnera seulement 287 MJ de chaleur⁷⁵ étant donné le taux d'efficacité. Pour ce qui est de l'électricité, tel qu'indiqué au tableau dix,⁷⁶ cela veut donc dire que le même contenu énergétique est de 99,65 kWh et restera le même en terme de production de chaleur.

Pour établir le prix de comparaison avec l'électricité, il faut donc réduire son prix de 20 %. Cela donne 5,6 cents le kWh. Si l'on attribue ce prix au contenu énergétique de référence, soit 1 sac de granulés de bois ou 9,3 litres, cela

⁷⁴ Voir Tableau de Jean Baribeault à l'annexe 5

⁷⁶ 1 gigajoule=277.8 kWh

équivalent à un prix de 5,58 \$. Le prochain tableau indique le coût de la même quantité de chaleur produite par l'équivalent d'un sac de granules de 9,3 litres de mazout ou de 99,65 kWh d'électricité.

Tableau 39 - Comparaison du coût de l'électricité par rapport à la même quantité d'énergie

Année	Prix du litre de mazout en cent	Prix du sac de granulés de bois	Prix de 9,3 litres de mazout	Coût de l'électricité ⁷⁷	Pourcentage d'économie entre le granulé et l'électricité
2008	93,15	3,85 \$	8,66 \$	5,58 \$	31 %
2009	69,18	5,00 \$	6,43 \$	5,58 \$	10 %
2010	78,17	5,00 \$	7,27 \$	5,58 \$	10 %
2011	95,63	4,34 \$	8,89 \$	5,58 \$	22 %
Moyenne	84,03	4,54 \$	7,81 \$	5,58 \$	18 %

Au tableau 13, nous arrivons à la conclusion théorique que le granulé de bois était en moyenne 42 % moins cher que le mazout pour les quatre années de comparaison. Avec la même approche de comparaison, le granulé a été 18 % moins cher que l'électricité. Si notre système de chauffage au granulé a une efficacité de conversion de 90 %⁷⁸, il importe de la considérer et d'ajuster l'économie à 28 %.

⁷⁷ Pour la même contenu énergétique soit 358,7 MJ en considérant l'efficacité de transformation à 100% donc 5,6 cents le kWh.

⁷⁸ Tel que le stipule la compagnie Harman qui produit des bouilloires au granulés par exemple.

6.11.3 Émissions de GES de l'électricité

Pour connaître les émissions de GES de l'électricité au Québec, les données à partir du Rapport d'inventaire national 1990-2010 d'Environnement Canada ont été considérées. L'intensité d'émission pour l'année 2010 est de 2 grammes (g) équivalents CO₂ du kWh. Puisque le Québec produit la majorité de son électricité de façon hydraulique, son intensité d'émission est très faible comparé à d'autres endroits aux États-Unis ou au Canada où le gaz et le charbon sont utilisés pour alimenter les turbines. À titre d'exemple, l'intensité pour l'Alberta est de 1060 g équivalents CO₂ du kWh⁷⁹.

Pour faire un comparatif avec nos cinq maisons, nous avons repris les résultats de tableau 38 où l'on établissait les émissions issues de la consommation de mazout. Encore une fois, nous avons considéré l'aspect de l'efficacité de l'électricité. Pour exemple, considérant l'écart de 20% d'efficacité, si une maison consomme 1000 MJ de mazout, cela signifie que seulement 800 MJ d'électricité seront convertis en chaleur.

⁷⁹ Pour l'année 2010, selon le Rapport d'inventaire national 1990-2010.

Tableau 40 - Émission de GES de l'électricité versus celles du mazout

Maison	Consommation moyenne annuelle de mazout	Tonnes de CO ₂ éq du mazout	Mégajoules d'énergie de mazout	Équivalent énergétique d'électricité en kWh ⁸⁰	Émissions de tonnes de CO ₂ éq de l'électricité
1	1 809 litres	5,14	69 103	15 507	0,03
2	3 896 litres	11,07	148 827	33 396	0,07
3	1 563 litres	4,44	59 706	13 398	0,03
4	523 litres	1,49	19 978	4 483	0,009
5	1 159 litres	3,29	44 274	9935	0,02

Ainsi, les données d'émissions du tableau 40 démontrent que le niveau d'émissions pour l'électricité est très faible, voire négligeable. Cette constatation peut donc porter à conclure que c'est une énergie de choix en matière environnementale. Cependant, la réflexion mérite d'être approfondie car dans la mesure où les GES n'ont pas de frontières et que l'hydroélectricité peut contribuer à substituer de l'électricité fait à partir du charbon, il serait pertinent de mesurer les effets globaux d'exporter l'électricité du Québec aux États-Unis.

⁸⁰ Considérant le 20% plus efficace de l'électricité versus le mazout.

CHAPITRE 7

CONVIVIALITÉ DE LA FILIÈRE ÉNERGÉTIQUE

Pour bien analyser la comparaison des deux filières énergétiques, il faut aller au-delà des chiffres, car le fait que le mazout soit un liquide et que le granulé un solide constitue une différence importante. D'entrée de jeu, le granulé de bois a deux avantages. D'abord, contrairement au mazout, un déversement a très peu de conséquences. Ensuite, selon les propriétaires ayant participé à l'expérience, l'odeur du granulé est beaucoup plus agréable. Cependant, le fait d'être un combustible solide a des conséquences en matière de ravitaillement, d'entreposage, de transport et de gestion des cendres. En termes de volume, le granulé nécessitera 3,3 fois le volume du mazout pour le même contenu énergétique.

7.1 Entreposage et ravitaillement

En 2012, le marché du granulé de bois est presque exclusivement occupé par des poêles au Québec. Ces appareils ont tous un réservoir intégré pouvant

contenir entre 18 kg et 70 kg de granulés permettant une autonomie variant entre un et cinq jours. Le ravitaillement se fait manuellement à partir de sacs de plastique de 18 kg. Bien que cette approche nécessite beaucoup moins de travail que le chauffage au bois, elle en demande beaucoup plus que le chauffage au mazout ou à l'électricité.

L'étape suivante pour cette filière énergétique est l'automatisation de l'approvisionnement comme cela se fait ailleurs dans le monde, particulièrement en Europe. Dans le cadre de la vitrine technologique étudiée, c'est cette approche qui a été expérimentée afin d'en mesurer le degré de convivialité.

Tout d'abord, en termes de transport, le camion de ravitaillement au mazout est remplacé par une souffleuse qui transfère le granulé de bois à partir d'un boyau de 15 cm de diamètre. Ainsi, le ravitaillement du granulé de bois est moins pratique que celui du mazout et le camion ravitaillera trois fois moins de maisons en raison du plus grand volume qu'occupe le granulé. Cette problématique est la même pour le réservoir résidentiel qui devra aussi être 3,3 fois plus volumineux pour le même contenu énergétique. Aussi, pour amener le combustible au système de chauffage, un système d'aspiration ou une vis sans fin devra être installé, alors que dans le cas du mazout, un simple tuyau de un centimètre de diamètre transfère le combustible.

Bien que cela semble plus difficile, c'est tout de même une approche très répandue en Europe. À titre d'exemple, la France a vu passer le nombre de camions souffleurs à 204 en octobre 2011, et ce, en moins de six ans⁸¹. De plus, parce que le ravitaillement est plus complexe que celui du mazout, les fournisseurs n'hésitent pas à conseiller de grossir les réservoirs de granulés de bois afin de réduire le nombre de ravitaillements durant la saison de chauffage. Enfin, le dernier défi se situe au plan de la tarification qui doit se faire au poids plutôt qu'au litre, obligeant l'installation d'un système permettant de prendre cette mesure sur le camion.

Dans le cadre de ce travail, une attention particulière a dû être portée à l'égard du type de souffleuse. Dans la mesure où la puissance de cette dernière était trop élevée, le granulé avait tendance à se briser et à former de la poussière de bois, ce qui n'est pas souhaitable pour la combustion.

7.2 Gestion des cendres

Au niveau de la combustion, la principale différence entre le mazout et le granulé se situe sur le plan de la production de cendres. Bien qu'il en produise très peu (autour de 3 %), le fait est que lorsqu'un système central de chauffage est conçu pour chauffer aux granulés, le fabricant prévoit un tiroir spécialement

⁸¹ Bioénergie International n°6 2011, p-20.

conçu pour recevoir les cendres. Ainsi, le projet de convertir une fournaise conçue pour brûler un combustible qui ne fait pas de cendres pour un autre qui en produit pose certains défis.

Dans trois des cinq conversions, il a été possible d'accroître l'espace pour les cendres. Le fait d'avoir à refaire la plaque frontale et changer la chambre de combustion a permis de faire le trou pour le canon cinq à dix centimètres plus haut, dégageant ainsi suffisamment d'espace pour ne pas avoir à ramasser les cendres trop fréquemment.

Il est évident que le fait de créer un tiroir à partir de la plaque frontale, sous la chambre de combustion, faciliterait l'opération de nettoyage. Il semble que ce soit toutefois assez complexe, et ce, sur la plupart des équipements de chauffage étudiés. Il a donc été décidé de doubler la plaque frontale et de la munir de charnières permettant d'avoir accès au trou de la chambre de combustion. Heureusement, le canon du brûleur suédois étant plus gros oblige à avoir un plus gros trou, facilitant ainsi l'accès.

À la fin de la saison, lors du démantèlement du projet, il a été constaté que les cendres s'accumulent autour de la chambre de combustion et même dans les échangeurs de chaleur. Cela porte à recommander de nettoyer les échangeurs au moins deux fois durant la saison. Une balayeuse à cendres a été utilisée pour faire

les nettoyages. Les deux premiers centimètres dans le fond de la chambre sont généralement fusionnés et il est donc nécessaire de briser la faible croûte et de la ramasser manuellement.

Aussi, il faut attendre que les cendres soient refroidies, sinon le boyau de métal de la balayeuse devient trop chaud pour les mains. À chaque opération, il importe de bien nettoyer le filtre de la balayeuse, car la poussière de cendres est si fine qu'elle parvient à réduire sérieusement la performance d'aspiration. En général, l'opération de nettoyage dure entre cinq et dix minutes. Pour quelqu'un qui a l'habitude de chauffer au bois, c'est peu, mais pour celui qui chauffait au mazout, c'est une toute nouvelle opération.

Le délai entre deux nettoyages dépend évidemment de l'espace accessible de la chambre de combustion et du niveau de consommation de granulés. Pour la maison 4 ayant chauffé exclusivement aux granulés, la fréquence de nettoyage a été d'environ une fois aux deux semaines tandis que pour la maison 2, l'opération devait se faire chaque semaine. Le fait d'omettre l'opération de nettoyage et de laisser s'accumuler les cendres a pour conséquence l'augmentation de la chaleur du brûleur et ultimement, l'arrêt de celui-ci puisqu'il est équipé d'une sonde de sécurité qui l'arrête lorsqu'il atteint 70 °C.

Loin d'être banale, la question de la gestion des cendres est peut-être l'élément qui rend la conversion d'une fournaise au mazout moins attrayante, malgré des résultats intéressants sur les plans économique et environnemental. Une vraie fournaise conçue pour le granulé de bois est équipée d'un tiroir à cendres. L'absence d'un tel équipement rend l'utilisation plus hasardeuse et moins conviviale, voire moins sécuritaire.

Tableau 41 - Statistiques globales des cendres

Maison	Nombre de jours	Litres de cendres
1	8,5	4
2	77	64
3	79	13
4	51	16
5	25	6

7.3 Test de combustion

Une autre expérience a consisté à mesurer l'efficacité des fournaises nouvellement converties aux granulés afin de voir si leur degré d'efficacité serait autour de 80 %, comme c'est le cas pour les systèmes au mazout. Les tests d'efficacité permettent de savoir dans quel pourcentage la quantité de mazout ou de granulés de bois est convertie en chaleur. Les tests de CO₂ ont été faits par M. Marcel Dufour, technicien d'expérience. Le tableau 40 indique les résultats obtenus à partir d'une table de calcul BACHARACH pour le chauffage à l'huile,

avec les pourcentages de CO₂ et les températures prises à la sortie des fournaies. Les résultats furent très satisfaisants, dépassant même ceux du mazout. Au moment de faire ces tests, en raison de problèmes techniques, le système de chauffage de la maison numéro un n'était plus en mesure de fonctionner.

Tableau 42 - Pourcentage d'efficacité des systèmes aux granulés

Maison	% CO2	% d'efficacité
2	9 %	82 %
3	9%	79%
4	14%	87%
5	9%	79%

CONCLUSION

Dans un contexte mondial d'accroissement de la population jumelé à une augmentation de la demande en énergie, s'interroger sur la pertinence d'une filière énergétique peu utilisée au Québec constitue une question sociale judicieuse. C'est encore plus vrai quand cette forme d'énergie est vouée presque exclusivement à la production de chaleur alors que le territoire québécois est très affecté par les rigueurs de l'hiver. L'analyse développée a permis de montrer que le granulé de bois dans le chauffage des bâtiments est une filière énergétique à privilégier, et ce, tant pour des raisons environnementales qu'économiques.

Après avoir posé un regard sur l'offre et la demande énergétique mondiale et nationale, la question principale était de savoir s'il était judicieux d'utiliser l'hydroélectricité comme source de chauffage. L'étude du plan d'approvisionnement 2011-2020 d'Hydro-Québec a permis de constater que le contexte énergétique particulier du Québec impose de pallier à une demande hydroélectrique croissante en hiver et de gérer des surplus, eux aussi croissants,

durant le reste de l'année. Ainsi, que de nouvelles centrales hydroélectriques soient construites ou que des parcs éoliens soient mis en place, le problème demeure, dans la mesure où même si ce sont des sources d'énergie renouvelables, elles produisent à l'année, réduisant le déficit énergétique hivernal tout en contribuant au surplus estival.

L'analyse approfondie du plan d'approvisionnement a permis aussi de constater que la société d'État devra, à partir de 2014, acheter de l'électricité produite à partir du gaz des centrales de la TransCanada Energy. Pourtant, cette façon de produire avait été fortement décriée en 2004 alors que le gouvernement projetait de construire ce type de centrale alimentée au carburant fossile.

Toujours en matière d'hydroélectricité, la réflexion a aussi porté sur des utilisations possiblement plus judicieuses que le chauffage. Les perspectives de production d'aluminium, l'électrification des transports et l'exportation vers les États-Unis ont semblé être des avenues plus enrichissantes pour le Québec.

Suite à cette analyse, la réflexion autour du granulé de bois s'est amorcée. Après avoir dressé un portrait de sa production et de sa consommation régionale, québécoise et canadienne, un regard a été porté sur l'utilisation de cette forme d'énergie en Europe pour constater une croissance importante de sa popularité, et ce, depuis plusieurs années. Ceci a amené à poser l'hypothèse que le granulé de

bois pourrait devenir une filière à privilégier dans le chauffage. Si c'est bon pour l'Europe, pourquoi n'en serait-il pas de même pour le Québec?

La deuxième partie de cette réflexion a consisté à comparer le granulé de bois et le mazout. Après avoir confirmé que la balance commerciale du Québec décroît avec l'importation de ce combustible fossile, certains aspects de ces deux formes d'énergie ont été analysés, notamment leurs fluctuations de coûts au cours des quatre dernières années. À partir du contenu énergétique de chacun, une comparaison économique théorique a été établie pour toutes ces années pour constater que généralement, le granulé de bois était nettement plus économique.

Le même exercice a été fait sur l'aspect des émissions de GES. Encore là, le mazout a été déclassé face au granulé de bois qui est considéré comme neutre en termes d'émissions de GES. La réflexion a été poussée en y ajoutant l'aspect de l'énergie nécessaire et les émissions issues de la production des deux formes d'énergie. Face à l'absence de ce genre d'information, il a fallu faire les calculs du bilan carbone et des ratios énergétiques à partir de données réelles obtenues avec la collaboration de l'entreprise Granules LG de Saint-Félicien.

Finalement, afin de vérifier les données de comparaisons théoriques entre les deux sources d'énergie, une étude terrain a été réalisée en procédant à la conversion de cinq fournaies résidentielles au mazout en fournaie aux granulés

de bois. Malgré les nombreuses difficultés, les résultats ont été concluants et ont confirmé les calculs théoriques.

En matière de chauffage, le granulé de bois a donc de sérieux atouts lorsqu'on le compare à l'hydroélectricité ou le mazout. La réflexion pourrait être poussée plus loin en comparant avec la filière gazière ou la géothermie, mais d'emblée, la conclusion de ce travail est que la filière énergétique du granulé de bois est pertinente pour le Québec, tant sur une base économique qu'environnementale.

BIBLIOGRAPHIE

Livres et rapports :

Agence internationale de l'énergie (AIE) (2010). *Key World Energy Statistics*

Beyond Petroleum (2011). *BP, Statistical review of world energy-June 2011, P.4*

Gouvernement du Québec *Plan d'action 2011-2020 du gouvernement du Québec*

Hydro-Québec (2009). *Plan stratégique d'Hydro-Québec 2009-2013*, p.5-24-25

Hydro-Québec (2009). *Plan d'approvisionnement 2009-2019*, p.39- 40-41-53.

Hydro-Québec (2010). *Plan d'approvisionnement 2011-2020 d'Hydro-Québec*.

Hydro-Québec (2011). *État d'avancement du plan d'approvisionnement 2011-2020 d'Hydro-Québec*, p.10-11

Proulx, M-U (2007). *Le redéploiement mondial dans l'industrie de l'aluminium sur les véhicules électriques. P-V-VII-21*

S&T Consultants (2006). *GH Genius Feedstock, Power, Fuels, Fertilizers and Materials*.

Revue :

Borde, V. (édition du 15 mai 2011 «Plan de bataille mondial», *Revue l'Actualité*.

Bioénergie International n°6 (2011) *La carte des fournisseurs avec camion-souffleur*, p-20 : <http://www.bioenergie-promotion.fr/17582/granules-et-plaquettes-la-carte-2011-des-fournisseurs-avec-camion-souffleur/>

Garnier C. (2007) *Bioénergie International* «Où en est le granulé de bois en France en 2007? <http://www.bioenergie-promotion.fr/477/granules-biocombustibles-en-france/>

La Presse section Affaires (édition du 14 octobre 2010)

Organismes consultés par l'entremise de leur site Internet⁸² :

Organismes internationaux

Agence internationale de l'énergie (AIE) : www.iea.org

Beyond Petroleum (BP): www.bp.com

Gouvernement du Canada

Environnement Canada 2011 : <http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=AC2B7641-1> et http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/dailydata_f.html

Office national de l'énergie (OEA) 2011 : <http://oee.nrcan.gc.ca/node/9997> et <http://www.neb.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfntn/prcng/crdlndptrlmprdcts/cndnndstrfra.html>

Gouvernement du Québec et sociétés d'état

Agence d'efficacité énergétique du Québec (2011) : <http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/>

Hydro-Québec(2012):
<http://hydrosourcedavenir.com/projets/19/l-hydroelectricite-assise-de-la-securite-energetique-du-quebec>
<http://hqenviro.turbulent.ca/developpement/34/le-developpement-des-marches-externes>

⁸² Puisque les sites internet ne sont pas permanents, les éléments cités dans cet ouvrage ont été enregistrés sur un disque qui a été joint aux correcteurs du mémoire.

<http://hqenviro.turbulent.ca/energie/5/une-fiabilite-garante-de-la-securite-energetique>

<http://hqenviro.turbulent.ca/energie/5/une-fiabilite-garante-de-la-securite-energetique>

Institut de la statistique (2009):

http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/struc_poplt/201_2009.htm

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF) (2012) :

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-importance-depense.jsp>

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-exportelectricite.jsp>

Régie de l'énergie (2011):

http://www.regie-energie.qc.ca/energie/archives/graphiques/mazout_graph_historique2011.pdf

Autres

Centre de recherche sur le développement territorial (CRDT -UQAC) (2007)

<http://storage.canalblog.com/53/93/447324/52288242.pdf>

Chauffage écolo (2012) : <http://chauffage-ecolo.woodcocoon.com/chauffage-au-pellet/les-origines-et-lhistoire-du-pellet/>

Congrès Américain (2009) *American Clean Energy and Security Act of 2009*

(H. R. 2454, Waxman-Markey). <http://www.govtrack.us/congress/bills/111/hr2454>

Crépito (2012) <http://www.crepito.fr/index.php/granule-de-bois/quelle-est-lhistoire-de-ce-combustible.html>

Granules LG (2012) <http://www.granuleslg.com>

Harman (2011) :<http://www.hearthnhome.com/downloads/brochures/HF60.PDF>

PSG (2011) :<http://www.psg-distribution.com/produit.aspx? Categold= 28&Id= 542&Page=spec>

Rakos C. (2009) Propellet: <http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

Sud énergies (2011) <http://www.sudenergies.fr/Petite-histoire-du-granule>

Swann, J. (2010) *Canadian wood pellet association:*
<http://www.pellet.org/production/2-production>

ANNEXE 1

DESCRIPTION DES MAISONS

Maison 1

Adresse : 335, rue Champagnat, Alma

Nombre d'occupants : 2 adultes propriétaires

Maison unifamiliale construite en 1948 de 1 ½ étage avec sous-sol en fondations de blocs

Superficie de 2 400 pi² au total

La fournaise est de marque Lincoln mazout/électricité

Maison 2

Adresse : 600 rue Bégin, Alma

Nombre d'occupants : 2 adultes propriétaires au rez-de-chaussée et 1 adulte locataire au premier étage

Maison de deux étages construite en 1950 avec sous-sol et loyer au premier étage

Superficie de 1 500 pi² par étage (34 pi X 46 pi), 4500 pi² au total

Chaudière de marque Fréco, installée en 1973

Maison 3

Adresse : 225, rue Saint-Bernard, Alma

Nombre d'occupants : 2 adultes propriétaires

Maison unifamiliale construite en 1952 de 2 étages avec sous-sol

Superficie de 2 700 pi² au total (3 étages de 900 pi²)

La fournaise est de marque Lincoln-Barrière MBO-115-DA 1993 en mode biénergie, plinthe électrique lorsqu'il fait plus froid que -15 °C.

Maison 4

Adresse : 441, rue Saint-Isidore, Métabetchouan-Lac-à-la-Croix

Nombre d'occupants : 2 adultes propriétaires et un enfant

Maison unifamiliale construite en 1962 d'un étage avec sous-sol

Superficie de 2 500 pi² au total

La fournaise est de marque Lincon avec une thermopompe en mode biénergie

Maison 5

Adresse : 1185, boul. Saint-Judes, Alma

Nombre d'occupants : 2 adultes propriétaires et 2 enfants de 3 et 5 ans

Maison unifamiliale construite en 1956 de deux étages avec sous-sol

Superficie de 2 184 pi² au total (26 pi X 28 pi)

La fournaise est de marque Valumatique LO-1M 1976 avec un brûleur Brock

ANNEXE 2

MAISON 3 – NOMBRE D’HEURES SOUS -15°

NOMBRE D'HEURES QUOTIDIEN SOUS -15 °C																
	2005			2006			2007			2008			2009			
	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	JANVIER	FÉVRIER	MARS
1	0	0	24	0	12	0	0	11	18	17	0	15	9	0	20	17
2	0	0	17	0	9	0	0	0	11	15	0	4	0	0	15	13
3	0	0	24	0	7	0	0	6	0	0	0	8	6	0	24	14
4	0	0	17	0	0	0	0	24	0	0	0	1	5	0	24	10
5	0	0	0	0	0	0	0	24	5	0	0	0	10	0	24	9
6	0	0	0	0	0	0	0	18	24	8	0	5	0	0	10	0
7	0	4	24	0	0	0	0	24	20	2	0	24	0	0	0	0
8	0	9	21	10	7	4	0	17	24	6	0	12	0	0	8	0
9	0	0	9	24	5	0	0	10	19	20	0	0	1	0	24	9
10	0	0	0	24	0	0	7	22	0	5	23	1	16	0	13	8
11	0	0	0	24	0	0	10	10	0	8	24	24	0	0	0	0
12	0	13	0	24	0	6	0	17	0	5	24	13	1	0	2	17
13	0	21	0	5	0	0	20	24	5	24	24	9	21	0	9	8
14	0	13	0	24	0	0	17	24	0	13	24	10	10	23	0	0
15	0	24	23	4	0	0	24	24	2	22	22	24	0	24	0	2
16	0	24	15	23	0	0	24	12	12	14	24	1	0	24	0	12
17	0	24	24	15	0	0	24	0	0	2	10	0	2	24	8	5
18	0	24	1	24	0	0	6	13	0	23	8	1	1	24	4	0
19	0	24	2	22	0	6	0	24	7	24	24	24	0	22	0	0
20	0	24	0	6	1	3	19	24	0	14	24	16	0	24	0	2
21	0	24	2	16	0	0	24	12	8	0	24	2	0	10	0	0
22	0	24	10	10	0	0	15	11	0	0	24	8	0	8	2	0
23	0	24	0	0	0	0	0	11	0	0	24	0	14	24	0	8
24	0	24	0	6	0	0	17	0	0	0	20	0	20	24	0	0
25	0	24	0	24	0	0	24	7	0	0	0	10	0	24	7	0
26	0	24	5	24	0	0	24	9	0	0	0	17	0	24	0	0
27	2	24	7	24	0	3	24	3	0	0	8	24	0	24	2	0
28	0	24	0	24	0	10	24	7	0	0	0	20	0	20	24	0
29	0	24	0	0	0	13	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	24	7	0	0	0	24	0	0	11	0	0	0	0	0	0
31	0	24	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	8	0	0
TOTAL	2	24	232	357	35	45	375	388	155	235	331	273	116	331	220	134

ANNEXE 3

MAISON 4 – NOMBRE D'HEURES QUOTIDIEN SOUS -12°

Mois	Janv 2006	Fev 2006	Mars 2006	Janv 2007	Fev 2007	Mars 2007	Dec 2007	Janv 2008	Fev 2008
1	0	0	24	0	11	21	0	24	19
2	0	0	11	0	0	11	0	24	7
3	0	0	11	0	7	0	0	24	24
4	0	0	0	0	24	0	0	8	9
5	0	0	0	0	24	8	0	0	6
6	0	0	0	0	24	24	0	0	16
7	0	3	3	0	24	24	0	0	24
8	0	18	16	0	24	24	0	0	16
9	0	24	8	0	15	24	0	0	2
10	0	24	0	0	24	1	0	0	0
11	0	24	0	0	14	0	0	0	12
12	0	24	0	0	20	0	0	0	24
13	0	14	0	0	24	8	0	23	16
14	0	24	0	0	24	0	0	20	24
15	0	10	0	0	24	9	0	10	24
16	23	24	0	0	16	20	0	24	24
17	24	24	9	0	1	7	0	10	8
18	3	24	6	0	24	1	0	1	0
19	4	24	6	0	24	13	24	24	4
20	5	15	8	0	24	4	24	24	0
21	5	20	0	0	19	9	8	24	0
22	15	12	0	0	15	0	0	24	0
23	5	0	0	0	24	0	0	24	0
24	0	8	0	0	5	2	0	24	0
25	0	24	0	0	14	0	0	24	0
26	14	24	0	0	15	0	0	24	0
27	9	24	0	0	9	0	0	24	0
28	0	24	0	0	16	0	0	10	0
29	21	0	0	24	0	0	0	9	0
30	11	0	0	24	0	0	17	0	0
31	0	0	0	24	0	0	24	16	0
Total	139	412	102	72	489	210	97	413	259

2006 : 653 heures= 27,2 jours équivalent de fonctionnement

2007 : 771 heures= 32,1 jours équivalent de fonctionnement

2008 : 769 heures= 32 jours équivalent de fonctionnement

ANNEXE 4 A

PRIX DU MAZOUT 2008



Prix affiché du mazout[†]
Moyennes mensuelles
JANVIER À DÉCEMBRE 2008
(sans escompte au volume)

Région	janv-08	févr-08	mars-08	avr-08	août-08	sept-08	oct-08	nov-08	déc-08	Moyenne 2008
1 Bas-St-Laurent	87,07	88,23	90,21	106,32	106,60	101,00	89,88	81,12	70,88	92,26
2 Saguenay/Lac-St-Jean	86,11	90,10	100,28	107,02	107,77	99,97	89,42	80,47	70,88	92,78
3 Capitale-nationale	90,22	90,44	100,99	107,37	111,45	103,22	92,71	83,48	73,92	94,87
4 Mauricie	87,82	88,87	90,44	106,55	107,66	100,44	89,99	82,49	70,39	92,81
5 Estrie	89,01	89,45	90,84	106,88	109,21	101,61	91,35	81,60	71,27	93,33
6 Montréal	90,72	92,49	101,91	109,10	109,43	102,32	92,34	82,74	72,48	94,83
7 Outaouais	93,80	94,85	104,56	112,37	113,89	107,39	98,22	88,74	78,42	99,14
8 Abitibi/Témiscamingue	94,30	94,10	102,97	111,99	112,00	105,49	98,47	88,85	78,10	98,25
9 Côte-Nord	91,34	91,55	102,32	111,22	117,46	110,38	98,69	87,69	75,85	96,28
10 Nord-du-Québec	102,21	100,73	110,41	119,78	124,24	124,13	111,84	99,21	88,93	108,83
11 Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine	91,38	91,79	100,82	109,27	113,18	105,33	95,56	86,16	75,24	96,82
12 Chaudière/Appalaches	87,54	88,95	90,28	106,38	106,32	101,05	90,28	81,41	71,20	92,49
13 Laval	91,58	93,45	102,46	109,99	109,54	102,72	92,53	83,10	72,55	95,33
14 Lanaudière	88,34	89,49	98,97	105,71	109,14	101,05	90,71	81,49	71,46	92,93
15 Laurentides	87,43	88,43	98,73	106,85	110,24	101,90	91,55	81,79	71,97	93,21
16 Montérégie	88,12	89,65	99,29	106,95	109,06	101,23	90,69	81,17	70,92	93,01
17 Centre du Québec	85,82	88,11	99,08	105,87	105,58	99,47	89,39	81,09	70,03	91,60
Moyenne pondérée** / Ensemble du Québec	89,98	90,20	100,10	107,57	108,29	101,93	91,57	82,44	72,04	93,79

Source : Relevés de la Régie de l'énergie en période d'hiver seulement.

(*) Moyens des prix de détail de l'échantillon de relevés du mardi matin. Les moyennes pondérées du Québec ainsi que les moyennes du Nord-du-Québec ne tiennent pas compte des prix de Hurville.

(**) La moyenne pondérée est calculée à partir de la répartition en % des volumes de ventes de carburants des stations distributeuses provenant du Ministère des ressources naturelles, données préliminaires pour l'année 1997, i.e., la plus récente.

Ces données ne tiennent pas compte des escomptes disponibles.

ANNEXE 4 B

PRIX DU MAZOUT 2009



Prix de détail du mazout en cents/litre⁽¹⁾
Moyennes mensuelles
(sans escompte au volume)

2009

Régions	Janvier	Février	Mars	Avril	Jun	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne 2009
1. Bas-Saint-Laurent	72,00	67,78	66,03	66,96	71,92	70,06	66,66	70,77	74,99	74,80	70,00
2. Saguenay-Lac-Saint-Jean	72,45	66,28	66,82	66,08	69,96	69,42	66,83	70,53	74,62	74,68	69,78
3. Capitale-Nationale	73,46	70,68	67,86	68,57	71,74	71,32	68,66	71,61	77,36	76,96	71,82
4. Mauricie	71,80	67,05	64,29	64,99	69,49	68,09	66,12	69,37	73,24	73,62	68,81
5. Estrie	71,16	67,96	66,69	66,89	68,96	67,96	66,32	69,38	75,20	74,73	69,82
6. Montréal	73,26	70,17	67,00	68,40	68,57	67,75	66,92	68,52	75,15	75,08	69,89
7. Outaouais	78,17	74,54	71,81	72,80	75,03	73,85	71,69	75,84	80,99	80,55	76,63
8. Abitibi-Témiscamingue	77,86	75,74	71,31	73,03	72,96	70,39	70,68	72,67	76,93	79,07	73,98
9. Côte-Nord	76,16	70,63	68,12	70,52	72,13	71,90	71,69	74,10	78,36	79,83	73,34
10. Nord-du-Québec ⁽²⁾	66,69	63,57	79,25	82,11	83,89	89,32	82,84	84,38	85,29	87,16	84,86
11. Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	75,12	72,70	68,81	70,48	74,57	75,72	73,20	76,68	81,07	79,99	74,81
12. Chaudière-Appalaches	73,26	67,82	66,22	66,25	69,46	68,62	64,85	69,63	74,82	74,63	69,46
13. Laval	73,39	70,18	67,09	68,83	69,86	68,61	67,35	69,66	77,21	76,63	70,90
14. Lanaudière	71,56	69,04	66,06	67,04	68,74	68,74	66,29	68,84	74,86	74,59	69,67
15. Laurentides	71,61	69,16	65,79	67,13	68,89	68,84	66,96	68,79	74,19	74,20	69,48
16. Montérégie	72,15	67,55	65,47	66,14	69,77	68,60	66,96	68,99	74,10	74,15	69,16
17. Centre-du-Québec	71,89	67,94	64,71	64,39	68,57	66,57	64,29	68,34	72,07	73,65	68,80
Moyenne pondérée⁽²⁾ / Ensemble du Québec	72,83	69,02	68,42	68,77	70,03	68,08	66,82	69,71	74,90	75,08	70,04

Source : Relevés de la Régie de l'énergie en période d'hiver seulement.

(1) Moyenne des prix de détail de l'échelle du relevé du mardi matin. Les moyennes pondérées du Québec diffèrent des moyennes du Nord-du-Québec en raison des prix du mazout.

(2) La moyenne pondérée est calculée à partir de la répartition en % des volumes de ventes de carburants des stations distributeuses provenant du Ministère des ressources naturelles, données préliminaires pour l'année 1997, i.e., la plus récente.

ANNEXE 4 C

PRIX DU MAZOUT 2010



Mazout léger⁽¹⁾
PRIX MOYEN DE DÉTAIL
 Par région administrative du Québec

Régions	RELEVÉS HEBDOMADAIRES ⁽²⁾												
	janvier				février				mars				
	2010-01-04	2010-01-11	2010-01-18	2010-01-25	2010-02-01	2010-02-08	2010-02-15	2010-02-22	2010-03-01	2010-03-08	2010-03-15	2010-03-22	2010-03-29
1. Bas-Saint-Laurent	78,0	80,1	76,8	76,3	76,1	75,6	74,1	75,9	76,1	75,7	75,5	75,7	75,3
2. Saguenay-Levo-Saint-Jean	78,9	79,9	77,4	75,7	76,2	78,6	76,6	78,9	76,9	79,6	79,1	78,7	78,2
3. Capitale-Nationale	80,3	82,1	82,2	80,1	79,3	80,5	79,6	80,0	80,6	80,8	80,4	80,3	79,2
4. Mauricie	76,7	79,0	75,2	73,7	74,0	73,5	73,5	75,0	75,0	74,7	74,5	74,7	74,7
5. Estrie	77,2	79,4	78,0	76,6	75,9	76,9	75,6	77,3	76,1	77,9	77,6	77,7	77,1
6. Montréal	78,7	80,6	79,6	78,2	77,7	78,0	77,3	78,2	76,3	78,3	78,6	78,5	78,2
7. Outaouais	84,2	86,2	84,8	84,2	84,4	83,4	83,0	83,6	83,8	83,8	83,8	84,5	84,7
8. Abitibi-Témiscamingue	79,8	81,8	81,4	81,4	81,2	81,4	81,4	82,2	82,4	82,4	81,0	81,0	81,0
9. Côte-Nord	81,7	86,2	86,2	83,2	83,7	80,3	77,7	80,3	80,3	80,7	80,9	81,5	81,6
10. Nord-du-Québec ^(1,3)	95,6	91,2	91,5	88,7	88,1	87,4	88,0	87,7	87,6	88,8	88,9	89,0	89,0
11. Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	84,1	85,2	83,4	82,2	82,2	81,6	80,9	81,3	81,7	81,7	81,9	82,1	81,7
12. Chaudière-Appalaches	77,4	78,4	76,6	76,2	76,2	75,1	74,3	76,3	76,6	76,1	75,4	75,3	75,6
13. Laval	80,7	82,4	81,2	79,9	79,3	80,3	79,4	80,2	80,6	80,6	81,0	81,0	80,3
14. Lanaudière	77,7	79,3	78,3	77,3	76,6	76,9	76,3	77,3	77,5	77,5	77,9	77,8	77,8
15. Laurentides	76,3	78,8	78,1	76,8	76,6	75,8	75,1	76,0	76,5	76,5	76,5	76,2	76,0
16. Montérégie	77,2	79,1	76,6	75,7	75,4	75,0	74,0	75,6	76,3	76,5	75,9	75,9	76,3
17. Centre-du-Québec	76,0	79,4	76,2	74,0	74,0	73,4	73,4	75,5	74,8	74,4	74,2	74,0	74,0
MOYENNE PONDÉRÉE (3)	78,8	80,8	78,8	76,9	76,6	76,6	75,8	77,2	77,5	77,5	77,3	77,3	77,3

Source

Régie de l'énergie, relevé hebdomadaire.

Notes

(1) Prix du mazout n°2 (sauf pour le Nord-du-Québec), incluant le transport, excluant les taxes de vente fédérale et provinciale (TPS et TVG) et excluant tout escompte social.

(2) Sauf exception, les relevés de prix sont faits les mardis, durant la saison de chauffage, pour couvrir la période d'assurance.

(3) Les moyennes ne tiennent pas compte des prix du Nunavut.

ANNEXE 5

COMPARAISON DE PRIX ENTRE QUATRE FORMES D'ÉNERGIE POUR LE CHAUFFAGE

Type de combustible	Coûts Par unité	Coûts \$/kWh	Efficacité de conversion %	Coûts \$/kWh
Mazout #2	0,93 \$/litre ⁽¹⁾	0,087\$	70-80	0,116
Gaz	0,60 \$/m ³ ⁽²⁾	0,06 \$	70-85	0,08
Électricité	0,08 \$/kWh ⁽³⁾	0,08 \$	100	0,08
Copeaux	65 \$/tmv ⁽⁴⁾	0,022 \$	70-80	0,029
Granules	175 \$/tma ⁽⁵⁾	0,035 \$	70-80	0,047

1- Source: Régie de l'énergie, moyenne pondérée 3 premier mois d'hiver pour l'ensemble du Québec

2- Coût moyen dépend de la consommation

3- Basé sur le coût moyen au tarif M pour une école

4- Comprend la récolte, le transport et le conditionnement

5- Comprend achat et transport

ANNEXE 6

LA CONSOMMATION FINALE DE PRODUITS PÉTROLIERS ÉNERGÉTIQUES (1983-2008)

Années	GPL ¹		Essence		Carburéacteur		Kérosène		Carburant diesel		Mazout léger	
	tep	%	tep	%	tep	%	tep	%	tep	%	tep	%
1983	312		5 617				199		1 939		3 081	
	526	2,09	210	37,60	612 292	4,10	061	1,33	591	12,98	154	20,63
1984	268		5 595				180		2 183		2 643	
	031	1,90	157	39,61	700 360	4,96	752	1,28	003	15,45	722	18,72
1985	278		5 574				144		2 187		2 398	
	529	2,13	364	42,65	724 742	5,55	099	1,10	380	16,74	495	18,35
1986	221		5 633				150		2 310		2 264	
	528	1,70	548	43,20	728 578	5,59	986	1,16	136	17,71	641	17,37
1987	228		5 682				158		2 439		1 943	
	299	1,80	065	44,83	818 378	6,46	230	1,25	893	19,25	684	15,33
1988	246		5 892				155		2 743		2 054	
	286	1,78	678	42,70	891 328	6,46	691	1,13	311	19,88	392	14,89
1989	265		6 153				166		2 932		2 145	
	001	1,80	451	41,88	893 439	6,08	481	1,13	232	19,96	688	14,60
1990	304		6 027				203		2 726		1 928	
	762	2,15	832	42,43	880 132	6,20	955	1,44	753	19,19	257	13,57
1991	309		5 706				188		2 573		1 715	
	430	2,35	057	43,42	713 128	5,43	565	1,43	515	19,58	732	13,06
1992	314		5 860				191		2 607		1 813	
	565	2,32	064	43,28	820 976	6,06	205	1,41	711	19,26	286	13,39
1993	322		6 068				190		2 729		1 825	
	513	2,38	103	44,86	706 862	5,23	657	1,41	768	20,18	443	13,49
1994	339		6 235				176		3 020		1 811	
	523	2,37	062	43,59	755 070	5,28	667	1,24	680	21,12	175	12,66
1995	292		6 264				198		3 112		1 744	
	732	2,11	620	45,18	729 374	5,26	323	1,43	494	22,45	201	12,58
1996	213		6 372				174		3 035		1 903	
	892	1,52	294	45,19	783 852	5,56	451	1,24	946	21,53	684	13,50
1997	259		6 380				163		3 271		1 756	
	652	1,84	416	45,22	672 275	4,76	896	1,16	135	23,18	080	12,45
1998	216		6 603				184		3 399		1 526	
	088	1,48	913	45,37	704 289	4,84	424	1,27	497	23,36	351	10,49
1999	196		6 708				262		3 546		1 467	
	106	1,35	285	46,07	740 570	5,09	577	1,80	894	24,36	393	10,08
2000	289		6 675				211		3 472		1 626	
	602	1,95	569	44,97	773 143	5,21	197	1,42	147	23,39	517	10,96
2001	302		6 747				144		3 186		1 607	
	567	2,03	002	45,27	825 597	5,54	388	0,97	143	21,38	221	10,79
2002	338		6 966		1 397		157		3 233		1 655	
	149	2,16	003	44,59	129	8,94	397	1,01	464	20,70	557	10,60
2003	281		7 166		1 263		181		3 516		1 811	
	473	1,70	142	43,23	923	7,62	837	1,10	001	21,21	167	10,92

	338		6 966		1 397		157		3 233		1 655		
2002	149	2,16	003	44,59	129	8,94	397	1,01	464	20,70	557	10,60	
	281		7 166		1 263		181		3 516		1 811		
2003	473	1,70	142	43,23	923	7,62	837	1,10	001	21,21	167	10,92	
	328		7 235		1 255		162		3 723		1 801		
2004	357	1,98	287	43,61	004	7,56	687	0,98	601	22,44	050	10,86	
	370		7 188				115		3 720		1 538		
2005	351	2,33	865	45,27	963	528	6,07	007	0,72	533	23,43	770	9,69
	311		7 113				83		3 864		1 380		
2006	822	2,06	416	46,93	904	707	5,97	479	0,55	686	25,50	088	9,10
	369		7 513				104		4 003		1 452		
2007	872	2,32	009	47,11	900	988	5,65	601	0,66	668	25,11	075	9,11
	322		7 212				136		4 354		1 142		
2008	335	2,08	712	46,61	716	843	4,63	611	0,88	384	28,14	531	7,38

1. Gaz de pétrole liquéfiés
(propane et butane).

2. Comprend l'essence aviation, le coke de pétrole et le gaz de distillation.

Note : En raison de l'arrondissement des nombres, la somme des données ne correspond pas toujours au total.

Sources : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et Statistique Canada.

ANNEXE 7

Liste des textes dupliqués sur CD-ROM

Figures

Figure 1	Consommation énergétique mondiale en million de tonnes équivalent.....	6
Figure 2	Scénario de référence pour la demande énergétique mondiale....	7
Figure 3	Énergie totale nette consommée au Québec en 2007	8
Figure 4	Dépenses totales en énergie au Québec (1983-2008).....	10
Figure 5	Dépenses des particuliers consacrées à l'énergie	11
Figure 6	Zones ENERGY STAR pour le Canada	13
Figure 7	Zones ENERGY STAR pour le Québec	14
Figure 8	Évolution des prix de l'énergie au Québec 1963-2009	16
Figure 9	La consommation de produits pétroliers énergétiques en tonnes équivalent pétrole (Tep)(1983-2008).....	17
Figure 10	Courbes des approvisionnements requis horaires classés après moyens de gestion existants (en MW) Années 2013 et 2017	21
Figures 11-12	Profil mensuel des approvisionnements requis (en GWh/mois) avant et après déploiement des moyens de gestion	23
Figure 13	Consommation mondiale d'aluminium primaire et PIB réel mondial, 1980-2006.....	31
Figure 14	Consommation mondiale d'aluminium primaire (Mt de métal).....	32

Figure 15	Les exportations nettes d'électricité (2000-2008)	36
Figure 16	Marchés de l'électricité du nord-est du continent	37
Figure 17	Industrie canadienne du granulé de bois.....	55
Figure 18	Demande de granulés en Europe 2008 (en million de tonnes)....	57
Figure 19	Quantité de chaudières résidentielles en Autriche	58
Figure 20	Le granulé de bois en Allemagne	59
Figure 21	Nombre de poêles en Italie.....	60
Figure 22	Ventes annuelles de poêles et bouilloires en France	61
Figure 23	Production de granulés de bois en France (en tonnes).....	62
Figure 32	Provenance des approvisionnements de pétrole brut (1983-2009).....	78
Figure 33	Répartition des approvisionnements de pétrole brut selon les pays (2009)	79
Figure 34	Prix du mazout léger (données mensuelles) Régions de Montréal et de la Capitale-Nationale de 1998 à 2011	85

Tableaux

Tableau 1	Prévision des ventes régulières au Québec par secteur de consommation (Scénario moyen en TWh).....	18
Tableau 2	Prévision des besoins en puissance à la pointe d'hiver par usages	19
Tableau 4	Bilan en puissance après déploiement des nouveaux moyens de gestion (en MW).....	25
Tableau 5	Centrales thermiques d'Hydro-Québec	26
Tableau 6	Demande énergétique à venir pour les États-Unis	38
Tableau 9	Coefficients d'émission des produits pétroliers raffinés	80

Tableau 10	Facteur d'émissions et de charge.....	82
------------	---------------------------------------	----

Site Internet

Granules LG

Fournaises PSG

Bouilloire Harman

GHGenius

Agence de l'efficacité énergétique

ANNEXE 8

Intensité d'émission de GES de l'électricité au Québec

Tableau A13-6 Données sur la production d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre pour le Québec¹

	1990	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010 ²
Émissions de gaz à effet de serre³								
<i>kt d'équivalent CO₂</i>								
Total^{4,5}	1 440	360	710	840	1 510	370	520	340
Production d'électricité^{6,7}								
<i>GWh</i>								
Combustion								
Charbon	0	0	0	0	0	0	0	0
Produits pétroliers raffinés ⁸	0	400	1 000	100	500	500	700	400
Gaz naturel	0	200	200	1 700	4 500	300	200	200
Biomasse	0	490	210	320	510	360	760	760
Autres combustibles ⁹	0	0	0	0	0	0	0	40
Nucléaire	4 100	4 900	4 500	4 600	4 300	3 600	3 600	3 600
Hydroélectricité	112 200	153 400	154 700	151 800	163 300	167 000	170 000	161 700
Autres sources renouvelables ¹⁰	0	170	420	420	620	560	1 320	1 900
Autres activités de production d'électricité ¹¹	0	0	0	0	0	0	0	0
Total¹²	116 200	159 600	161 000	159 000	173 700	172 300	176 700	168 600
Intensité des gaz à effet de serre								
<i>g GES/kWh – électricité produite</i>								
Intensité CO ₂ (g CO ₂ / kWh)	12	2	4	5	9	2	3	2
Intensité CH ₄ (g CH ₄ / kWh)	0,0003	0,0001	0,0003	0,0010	0,002	0,0002	0,0002	0,0002
Intensité N ₂ O (g N ₂ O/ kWh)	0,0003	0,0001	0,0002	0,0002	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001
Intensité liée à la production (g d'éq. CO ₂ /kWh)	14	3	5	6	10	3	3	2
Énergie non utilisée (GWh) ^{13,14}	11 100	14 800	11 100	11 100	14 100	11 100	12 500	16 200
Émissions de SF ₆ liées au transport (kt d'éq. CO ₂) ¹⁵	39	37	42	31	26	37	50	36
Intensité liée à la consommation (g d'éq. CO ₂ /kWh) ¹⁶	14	3	5	6	10	3	3	2

Notes :

- Les données présentées ici comprennent les émissions, l'électricité produite et l'intensité des émissions de GES des services publics.
- Données préliminaires.
- Données tirées du *Bulletin sur la disponibilité et l'écoulement d'énergie au Canada*, n° 57-003-XIB au catalogue, Statistique Canada.
- Les émissions attribuables à l'inondation des terres pour la construction de barrages hydroélectriques ne sont pas incluses.
- Les émissions liées à l'utilisation de biomasse pour la production d'électricité ne sont pas incluses.
- Adapté à partir de données fournies dans le tableau CANSIM 127-0007 au moyen des tableaux CANSIM 1270004 et 1270006 (pour 2005-2010).
- Adapté à partir de données fournies dans *Production, transport et distribution d'électricité (PTDE)*, n° 57-202-XIB au catalogue, Statistique Canada (pour 1990-2004).
- Comprend l'électricité produite par la combustion de mazout léger, de mazout lourd et de diesel.
- La catégorie Autres combustibles comprend la production d'électricité à partir de combustibles qui ne sont pas faciles à classer, y compris le coke de pétrole et le gaz de distillation.
- La catégorie Autres sources renouvelables comprend la production d'électricité de source éolienne, marémotrice et solaire.
- Catégorie 221119 – SCIAN.
- Les chiffres ayant été arrondis, la somme des totaux peut ne pas correspondre au total global indiqué pour la production d'électricité.
- Adapté à partir du tableau CANSIM 1270008 de Statistique Canada (2005-2010) ou n° 57-202-XIB au catalogue (1990-2004).
- Comprend les pertes dans les lignes de transport, les différences de lecture et les autres pertes.
- Émissions attribuables à l'équipement électrique de la catégorie 2.F.viii du CUFR (Production et consommation d'halocarbures et de SF₆).
- Les valeurs d'intensité liée à la consommation sont arrondies et tiennent compte de l'énergie non utilisée et des émissions de SF₆ liées au transport.